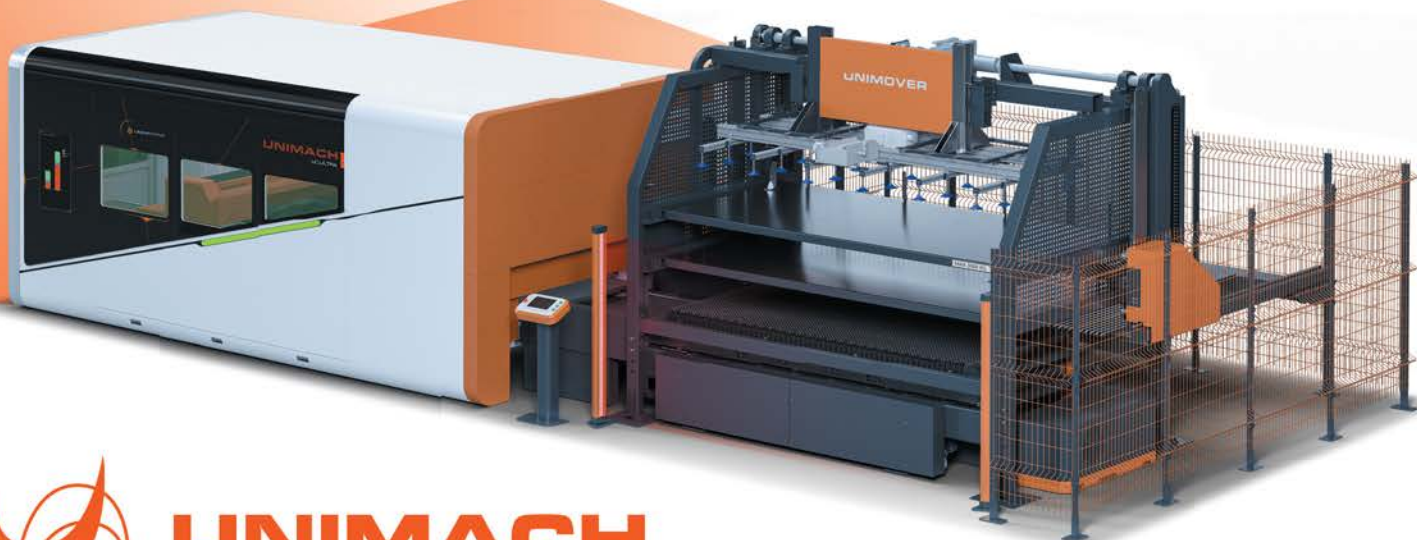


РИТМ

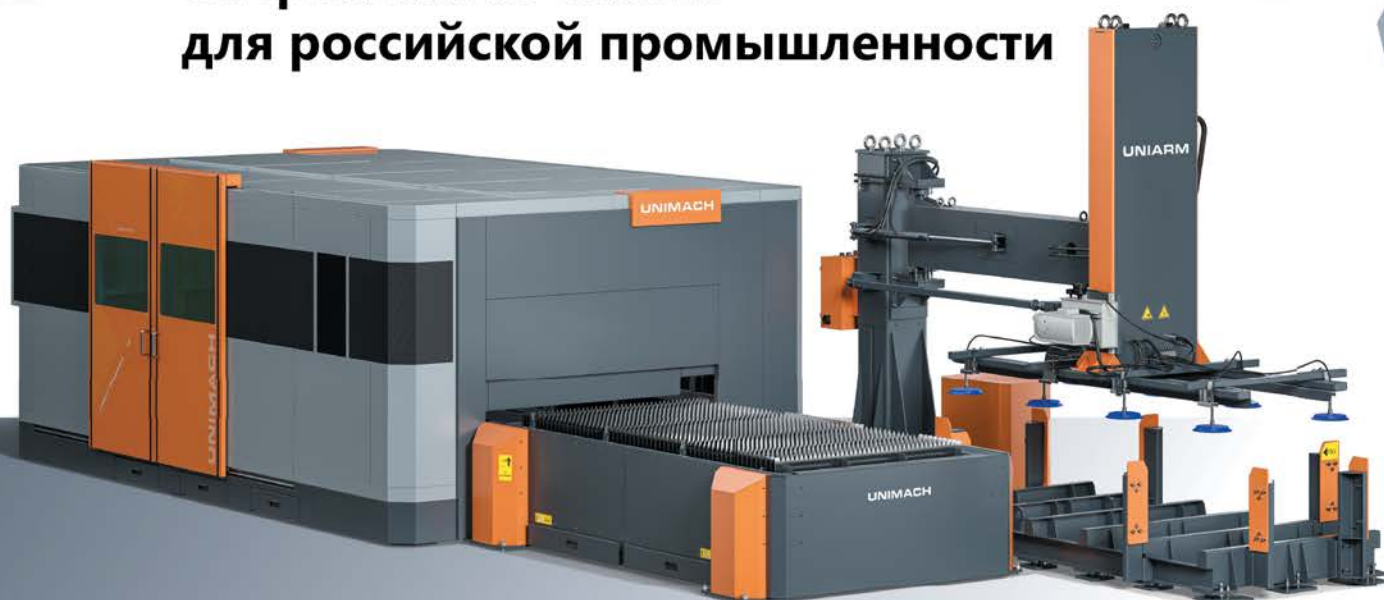
МАШИНОСТРОЕНИЯ

'1
2024



UNIMACH

Современные станки
для российской промышленности



- Лазерные раскройные комплексы для листового металла
 - Модули лазерной резки труб
 - Фильтро-вентиляционные установки
 - Оборудование лазерной сварки
 - Системы автоматизации



UNIMACH

www.unimach.ru

20 ЛЕТ



**ЛАЗЕРНЫЙ
ЦЕНТР**

Российский производитель
лазерного оборудования
для промышленности

newlaser.ru



info@newlaser.ru

тел.: (812) 240-5060

195067 г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Тухачевского д. 22, БЦ «Сова», оф. 228

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИИ

30
МОДЕЛЕЙ
ОБОРУДОВАНИЯ

1500+
ПОСТАВЛЕННЫХ
СИСТЕМ

23
ГОДА
НА РЫНКЕ



СОДЕРЖАНИЕ

16

Современные станки для российской промышленности /
Modern machine tools for the Russian industry



18

20-летие компании «Лазерный Центр»: от группы инициативных ученых до лидеров отрасли / 20th anniversary of the «Laser Center» company: from a group of initiative scientists to industry leaders

20

Системы автоматизации – ключевой фактор эффективного производства /
Automation systems as a key factor in efficient production

23

Российский рынок промышленной метрологии /
Russian industrial metrology market



26

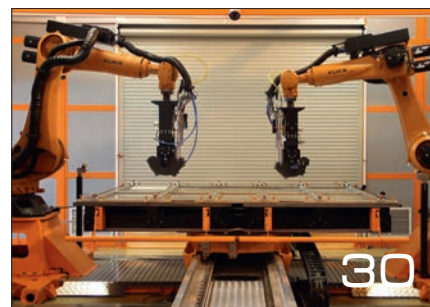
Контроль крупногабаритных валов и режущего инструмента /
Inspection of large shafts and cutting tools

28

Что нужно для ускоренного развития аддитивных технологий в России? /
What is needed for the accelerated development of additive technologies in Russia?

30

Лазерные технологии впечатляют / Laser technology are impressive



35

Лазерные промышленные технологии: комплексный подход к решению задач клиента / Laser industrial technologies: an integrated approach in solving client's tasks

36

Additive Minded – 2024: Широко. Системно. Рентабельно /
Additive Minded – 2024: Wide. Systemically. Profitably

42

Электрохимическая обработка изделий аддитивного производства из металлов и сплавов / Electrochemical processing of additive manufacturing products from metals and alloys



50

Обеспечение качества металлоконструкций: модернизация методов контроля, а не предприятия / Quality assurance of metal constructions: modernizing inspection methods, not an enterprise

52

Лазерные технологии создания шлифовальных кругов /
Laser technologies for grinding wheels production

Издатель ООО «ПРОМЕДИА»
директор О. Фалина
главный редактор М. Копытина
выпускающий редактор Т. Карпова
дизайн-верстка С. Куликова
руководитель проектов З. Сацкая

Отдел рекламы:
Е. Пуртова, Е. Ерошкина

консультант В.М. Макаров
consult-ritm@mail.ru

**АДРЕС: 107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1, т/ф (499) 55-9999-8 (многоканальный)
e-mail: ritm@gardesmash.com
https://www.ritm-magazine.com/ru**

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-63556.

(До 09.2015 журнал «РИТМ»)

Тираж 10 000 экз.

Распространяется бесплатно на выставках и конференциях.

Перепечатка опубликованных материалов разрешается только

при согласовании с редакцией. Все права защищены ®

Редакция не несет ответственности за достоверность информации в рекламных материалах и оставляет за собой право на редакторскую правку текстов. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.



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 APTA 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, в 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

Двойной юбилей



8 января 2024 года президент ассоциации «Станкоинструмент» Георгий Васильевич Самодуров отметил свой 70-й юбилей!

Георгий Самодуров возглавляет ассоциацию «Станкоинструмент» с 2004 года.

«Профессиональный путь Георгия Васильевича — это пример высочайшей компетентности, глубокой ответственности и преданности своему делу», — утверждают коллеги юбиляра, чье имя неразрывно связано с машиностроением.

Георгий Самодуров родился 8 января 1954 года в Ростовской области, где окончил государственный технический университет. Прошел трудовой путь от мастера до генерального директора производственного объединения по выпуску кузнечно-прессового оборудования «Донпрессмаш» Минстанкопрома СССР, которым руководил 17 лет.

Возглавлял совет директоров промышленных предприятий Азова, избирался депутатом городской думы.

Деятельность в ассоциации производителей станкоинструментальной продукции начал с должности первого вице-президента в 2003 году. Последние 20 лет является бессменным руководителем организации, которая консолидирует усилия для развития научно-технического и производственного потенциала предприятий станкоинструментальной отрасли России.

«Президент Владимир Владимирович Путин и федеральное правительство поставили перед отраслью очень масштабные задачи, которые требуют нестандартных подходов, объединения профессионального сообщества и властных структур. Мы выступаем за партнерские отношения в этих процессах, всецело поддерживая достижение технологической независимости в станкоинструментальной отрасли», — говорит Георгий Самодуров о целях ассоциации.

И еще одна дата — 50 лет в отрасли станкостроения: свою трудовую деятельность Георгий Васильевич начал в 1974 году.

Именинник удостоен почетного звания «Заслуженный машиностроитель Российской Федерации», имеет ученую степень кандидата технических наук.

Юбиляра поздравили соратники по поддержке отечественной станкоинструментальной отрасли — руководители предприятий — членов ассоциации, депутаты Государственной Думы, руководители Минпромторга и других государственных и общественных организаций.

Редакция журнала «РИТМ машиностроения» присоединяется к самым наилучшим пожеланиям.

Инвестиции в промышленность

Выступая на совещании в рамках рабочего визита на промышленные предприятия Челябинска, президент РФ Владимир Путин напомнил о задаче обеспечить к 2030 году инвестиции в российские проекты по выпуску приоритетной промышленной продукции не менее 10 триллионов рублей.

В свою очередь глава Минпромторга РФ Денис Мантуров отметил беспрецедентные меры поддержки инвестиционной активности в прошлом году, когда совокупный объем бюджетных вложений в НИОКРы превысил 155 миллиардов рублей. Точно так же рекордный объем займов — на 142 миллиарда рублей — выдал Фонд развития промышленности.

Министр пояснил, что 2023 год был ознаменован началом прикладной реализации новых системных механизмов. Во-первых, кластерная инвестиционная платформа как инструмент сформировала условия для дополнительного привлечения в промышленность порядка 730 миллиардов рублей. Сейчас на экспертизе проекты еще на 1,4 триллиона рублей. Также была востребована промышленная ипотека, которая уже обеспечила бизнесу приобретение на льготных условиях около 4 миллионов квадратных метров производственных площадей. Основными ее получателями являются малые и средние компании, которые участвуют

в кооперации по проектам крупного бизнеса. Для них промпотека является самым быстрым способом не только приобрести, но, самое главное, нарастить эти мощности, площади, в том числе приобретая готовые участки в индустриальных парках. Формат развития индустриальных парков наряду с промышленными технопарками также успешно масштабируется в регионах: сейчас по стране в целом уже создано 280 таких площадок. Инвестиции резидентов на этих площадках за последние 10 лет превысили 2 триллиона рублей.

Также министр отметил, что в сегменте производства средств производства помимо широкой палитры станков, обрабатывающих центров и инструментов для отечественных предприятий приоритетом является промышленная робототехника. Комплексное наращивание компетенций в данном направлении будет обеспечиваться в профильных центрах, создаваемых на базе «Иннополиса», а производственным флагманом отрасли должен стать «Завод роботов», возможности которого были продемонстрированы президенту во время поездки (от ред.: создан на базе Челябинского кузнечно-прессового завода).

<http://kremlin.ru/>



Волгашлиф Плюс

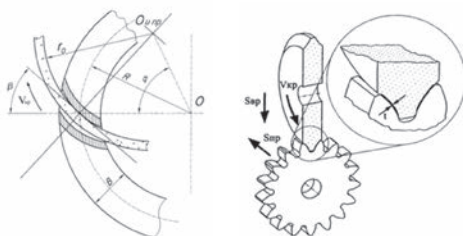
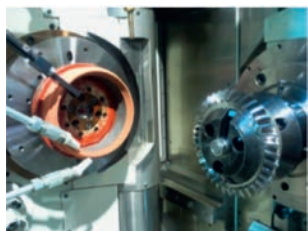
ПРОИЗВОДСТВО И ПРОДАЖА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА КЕРАМИЧЕСКИХ СВЯЗКАХ ДЛЯ ОБЩЕМАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ



- ✓ большая номенклатура по типоразмерам и характеристикам;
- ✓ более 150 предприятий — заказчиков в России и Республике Беларусь;
- ✓ адресное выполнение заказов под конкретную операцию обработки;
- ✓ короткие сроки изготовления (до 1 месяца);
- ✓ минимальная партия заказа (при необходимости от 1 шт.);

Эксклюзивная продукция: **ВЫСОКОСТРУКТУРНЫЕ КРУГИ** на керамических связках с **ПОВЫШЕННОЙ ПОРИСТОСТЬЮ** — *инструмент нового поколения для высокопроизводительного бездефектного шлифования, в том числе:*

- для **профильного глубинного шлифования** деталей газотурбинных двигателей



- для **шлифования цилиндрических и конических зубчатых колес и шлицевых соединений**

- для **шлифования фасонного режущего инструмента** (фрез, долбяков, накатных роликов, протяжек)

- для **резьбошлифования** и других проблемных операций с риском формирования прижогов, трещин и сколов на обрабатываемых деталях



Успешный многолетний опыт **ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ** инструмента фирм Tyrolit, Winterthur, Norton, Burka-Kosmos, Carborundum, Molemab и др. для оснащения всех применяемых в России и Республике Беларусь отечественных и зарубежных шлифовальных станков, включая multifunctional and specialized equipment of firms Magerle, Elb-Schliff, Blohm, Gleason-Pfauter, Klingelnberg-Oerlikon, «Станковендт» и др.

85 лет со дня рождения



23 февраля 2024 года исполнилось бы 85 лет со дня рождения Валентина Павловича Гапонцева, талантливого инженера, ученого-физика с мировым именем, успешного бизнесмена, блестящего педагога, чуткого и щедрого человека, оставившего глубокий след в сердцах своих близких, друзей, коллег, учеников, партнеров.

Вся жизнь Валентина Павловича — бесконечная преданность выбранному делу.

Он создал свой миллиардный бизнес не на продаже природных ресурсов, не на приватизации советских предприятий, а поднялся с нуля на научной основе на производстве промышленных лазеров, с появлением которых стали возможны прорывные решения в сфере телекоммуникаций и медицины, по сути, была создана новая отрасль промышленности — лазерное машиностроение. Именно с появлением мощных волоконных лазеров с невероятной скоростью начал расти рынок раскройных, сварочных машин, машин для микрообработки и др.

Компания Валентина Павловича — НТО «ИРЭ-Полюс», а затем и международная корпорация IPG Photonics — стала крупнейшим производителем лазеров в мире. Созданная им и его учениками принципиально новая технологическая платформа настолько фундаментальна, что

десятки ведущих фирм не могут повторить результаты. Собственная бизнес-модель в управлении и разработках, когда в руках концентрируется всё: элементная база, технологии, оборудование, позволяет быть впереди, делать все быстрее, дешевле и лучше других.

Чтобы сохранить добрую память о Валентине Павловиче, в городе Фрязино на территории НТО «ИРЭ-Полюс» был установлен памятник, на доме № 4 по Лесной улице — мемориальная доска, его имя на борту первого электрического российского корабля, созданного компанией «Морсвязьавтоматика» — многолетним заказчиком продукции НТО «ИРЭ-Полюс». В этом году вышла книга-альбом «Валентин Павлович Гапонцев. Портрет на фоне эпохи». Но лучшая память — это сохранение и преумножение результатов его труда, развитие компании. Выпускаемая линейка продукции компании включает более 600 наименований, многие изделия не имеют аналогов на мировом рынке высоких технологий, начиная с волоконных лазеров, которые интегрируются в высокотехнологичные системы обработки материалов, и заканчивая телекоммуникационным оборудованием, медицинскими аппаратами хирургии и силовой терапии, волоконно-оптическими компонентами. Важным шагом стала локализация производства продукции в России, что позволяет в современных условиях продолжить серийный выпуск широкой линейки лазерных систем и лазерных источников мощностью до 40 кВт, осуществлять их сервис в сжатые сроки. Миссия, сформулированная В.П. Гапонцевым: разработка инновационных лазерных решений, чтобы сделать мир лучше, — выполняется уже более тридцати лет.

Мировой рынок лазерных технологий

По данным аналитического агентства Research and Market, объем рынка лазерных технологий сильно вырос за последние годы. Он вырастет с \$13,89 в 2023 году до \$15,22 в 2024 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 9,6%. Рост, наблюдаемый в этот период, можно объяснить широким внедрением лазерных технологий в медицинских и хирургических процедурах, использованием в средствах связи и передачи данных, применением в технологиях развлечений, более широким использованием в процессах производства полупроводников и внедрениями в военных целях. Универсальность и точность лазерной технологии сделали ее ценным инструментом в различных отраслях.

Рынок лазерных технологий состоит из продаж газовых, твердотельных, волоконных лазеров, лазеров на красителях и полупроводниковых лазеров. Ценности на этом рынке представляют собой стоимость товаров, проданных производителями или создателями товаров другим организациям или непосредственно конечным потребителям. В стоимость товаров входят сопутствующие услуги, предоставляемые создателями товаров.

Ожидается, что и в ближайшие несколько лет объем рынка лазерных технологий также будет стремительно расти. В 2028 году он вырастет до \$21,51 при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 9,0%. Рост в прогнозируемый период можно объяснить внедрением зеленых и волокон-

ных лазеров, их использованием в освоении космоса, применением в лазерном искусстве и дизайне, интеграцией технологий биометрической аутентификации и использованием в инициативах по возобновляемым источникам энергии. Ключевые тенденции, ожидаемые в прогнозируемый период, включают достижения в области квантовых технологий, пересечение 5G и оптических сетей, инновации в управлении лазерным лучом, внедрение квантовых точек и наноматериалов, а также достижения в методах лазерной микроскопии. Росту рынка лазерных технологий также способствует рост использования потребительских электронных гаджетов.

Ожидается, что растущий промышленный сектор станет ключевым фактором развития рынка лазерных технологий. Промышленный сектор, широко использует лазерные технологии для резки, сварки, маркировки и др. Это приложение обеспечивает высокую точность, скорость и автоматизацию производственных процессов, что в конечном итоге повышает эффективность и качество продукции.

В последние годы размер рынка лазерной обработки быстро вырос. Предполагается, что он вырастет с \$18,34 в 2023 году до \$20,29 в 2024 году при совокупном годовом темпе роста 10,6% и в 2028 году до \$30,54 при совокупном годовом темпе роста 10,8%.

<https://www.researchandmarkets.com>

LightWELD XR



ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА

ЕДИНСТВЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННО ПРИГОДНАЯ
УСТАНОВКА ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛА
ОБОРУДОВАНИЕ **АТТЕСТОВАНО НАКС**



Глубина проплавления при односторонней сварке:

- Низкоуглеродистая сталь – до 6 мм
- Нержавеющая сталь – до 6 мм
- Алюминий (АМг, АМц) – до 6 мм
- Алюминий АМГ6 – до 3 мм
- Титан и никелевые сплавы – до 5 мм
- Медь – до 2 мм

Простота ввода в эксплуатацию:

- Библиотека сварочных режимов по всем перечисленным металлам разных толщин
- Библиотека режимов очистки
- Обучение и ПНР при поставке

Подключение и охлаждение:

- Воздушное (туннельного типа, ПВ 90%) 220 VAC, 4 кВт
- Защитный газ – аргон/азот/гелий

Переносной корпус:

- Вес – 53 кг

ПРОИЗВОДСТВО И СЕРВИС НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Наплавка с помощью LightWELD XR

С помощью LightWELD XR также можно осуществлять высокоэффективную лазерную наплавку с присадочной проволокой, как в ручном, так и роботизированном режиме. К примеру, работы по наплавке роторных лопаток и валов, проведены у авторизованного партнера ООО НТО "ИРЭ-Полус" - ООО "Техлаб", г. Санкт-Петербург.





Главное событие отрасли
в России и странах СНГ

ФОТОНИКА

МИР
ЛАЗЕРОВ
И ОПТИКИ

26–29 марта 2024

18-я международная специализированная выставка
лазерной, оптической и оптоэлектронной техники

Реклама



12+

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

www.photonics-expo.ru



ЛАЗЕРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

65 ЭКСПОЦЕНТР

Крупноформатная 3D-печать

Крупноформатная 3D-печать радикально сокращает путь от замысла до готового изделия. Не нужно разбивать производственный цикл на десятки технологических операций, реализация которых требует привлечения десятков рабочих и обширного станочного парка.

3D-принтер по технологии FGF, разработанный специалистами компании «НПК Морсвязьавтоматика» (MCA) и уже используемый на производстве судов, позволяет изготавливать изделия размером 10×2×2,5 м. Он включает: станину, снабженную двумя подвижными платформами; два установленных на платформах промышленных робота; размещенные на манипуляторах роботов экструдеры. Каждый экструдер снабжен подогреваемым контейнером, обеспечивающим разогрев гранул до температур, значительно превышающих 100 °С. Для получения гладкой поверхности после окончания печати производится фрезерная обработка. Также с помощью фрез изготавливаются монтажные фланцы и отверстия с высокими допусками. Количество термопластов, используемых в 3D-печати, измеряется многими десятками.



Планируется, что помимо уже производимых матриц и пультовых конструкций в 2024 году начнется производство форм для вакуумной инфузии, матриц для литья двухкомпонентных пластиков, формообразующих конструкций для последующей выкладки препрегов. Все они необходимы для производства судов различных конструкций и размеров.

Одновременно ведутся работы по созданию нового оборудования. Опыт эксплуатации 3D-принтера на основе промышленных роботов выявил невозможность дальнейшего наращивания скорости и точности как самой печати, так и последующей механической обработки. Преодолеть эти ограничения призван принтер принципиально иной — порталной — конструкции. Вместо платформ с роботами принтер использует портал, на котором размещены экструдер и шпиндель для фрезерной обработки. Помимо значительно более высоких показателей скорости и точности печати такая конструкция обеспечивает более высокий уровень автоматизации: по окончании печати каретка с экструдером автоматически переводится в парковочное положение и фреза приступает к работе без малейшей задержки. Габариты порталного принтера позволяют изготавливать объекты размерами до 6×2×1,8 м. Не позднее февраля 2024 он должен быть введен в строй и задействован в производстве корпусных элементов небольших судов.

<https://unicont.com>

В рамках деловой программы выставки «Фотоника» состоятся научно-практические конференции XII Конгресса ТП «Фотоника»

Организаторы: «Лазерная ассоциация», АО «Экспоцентр»

«Лазерная макрообработка промышленных материалов» 26 марта с 15.00 до 18.00

г. Москва, ЦВК «Экспоцентр», зал «Южный» павильона «Форум»
Председательствующий — Г.А. Туричин, член исполнительного комитета ТП «Фотоника», ректор ФГБОУ ВО «СПбГМТУ»

1. «Современные разработки и результаты промышленного освоения лазерных и аддитивных технологий»
Г.А. Туричин, ФГБОУ ВО «СПбГМТУ», АО «ЦТСС»
2. «Технология селективного лазерного сплавления: достигнутые результаты и перспективы развития»
А.А. Ким, АО «Лазерные системы»
3. «Процедура получения одобрения на применение технологических процессов лазерной и лазерно-дуговой сварки при строительстве судов, поднадзорных российскому морскому регистру судоходства»
В.В. Осипов, ФГБОУ ВО «СПбГМТУ»
4. «Лазерная безопасность. Новые положения и базовые принципы»
О.А. Крючина, НТО «ИРЭ-Полюс»
5. «Влияние параметров лазерной наплавки на образование трещин и микроструктуру при ремонте узлов газотурбинных двигателей из никелевых суперсплавов»
Р.С. Корсмик, Г.Г. Задыкян, ФГБОУ ВО «СПбГМТУ»
6. «Установка для ударного лазерного упрочнения»
Э.Д. Ишкинзяев, А.С. Щекин, ООО «ЛАССАРД»
7. «Передовые технологии для раскрытия электротехнической стали»
Н.М. Авилкин, НТО «Лазеры и аппаратура»
8. «Мобильные установки для упрочнения штамповой оснастки»
Д.О. Чухланцев, ООО «Термолазер»

«Лазерная микрообработка в микроэлектронике, приборостроении, гравировке и маркировке» 27 марта с 15.30 до 18.00

г. Москва, ЦВК «Экспоцентр», зал «Южный» павильона «Форум»
Председательствующий — И.Н. Фоменко, директор по развитию ООО «Лазерный центр»

1. «Тенденция на рынке лазерного оборудования»
И.Н. Фоменко, ООО «Лазерный Центр»
2. Тема уточняется И.П. Иваненко, МГУ им. М.В. Ломоносова
3. «Лазерная функционализация поверхности материалов и области их применения»
А.В. Логинов, Университет ИТМО
4. «Оборудование компании "Лазеры и аппаратура" для 2D- и 3D-обработки»
А.Л. Цыганцова, ГК «Лазеры и аппаратура»
5. «Обзор новых лазерных излучателей производства "ИРЭ-Полюс"»
С.В. Петров, ООО НТО «ИРЭ-Полюс»
6. «Лазерная маркировка 2D-кодов методом DPM»
В.В. Жданов, Финансовый университет при Правительстве РФ
7. «Презентация систем микрообработки "МикроСЕТ"»
В.С. Бондарев, ООО «Лазерный центр»
8. «Презентация системы 3D-обработки "ТурбоФорма"»
Д.В. Вирков, Центральный НИИ лазерного оборудования и технологий
9. «Об опыте создания лаборатории лазерных технологий в техническом вузе»
В.А. Парфенов, «ЛЭТИ-ЛазерЛаб»
10. «Применение лазерных систем в сувенирном бизнесе»
А.В. Михайловский, компания «Отличные подарки»
11. «Новые композитные пленки для лазерной маркировки изделий, эксплуатирующихся при температуре до 1100 °С»
Е.Ю. Жданова, СПб. горный университет императрицы Екатерины II

Выпуск увеличен в 2,5 раза

В 2023 году московский производитель лазерного оборудования НПЦ «Лазеры и аппаратура» выпустил 42 станка, что в 2,5 раза больше показателей 2022-го. Об этом сообщил министр правительства Москвы, руководитель Департамента инвестиционной и промышленной политики, входящего в Комплекс экономической политики и имущественно-земельных отношений столицы, Владислав Овчинский.

«Предприятие динамично развивается — расширяет производственные площади и парк оборудования, наращивает товарную линейку и увеличивает выпуск конкурентноспособной продукции. Сегодня производство компании локализовано почти на 90 процентов», — отметил Владислав Овчинский.

В 2023 году в товарную линейку вошли четыре новые базовые модели. В ассортименте производителя — промышленные лазерные станки для пятикоординатной обработки, микрообработки, резки, сварки, наплавки, 3D-выращивания из металлических порошков. Свыше 800 машин работают на предприятиях России, Белоруссии и других стран.

«Нам важно расширять объемы производства, повышая качество станков в соответствии с требованиями совре-



менной индустрии. Так, на 2024 год мы запланировали производство не менее 60 лазерных станков, из которых минимум 25 будут пятикоординатными многоосевыми обрабатывающими центрами», — рассказала исполнительный директор предприятия Анна Цыганцова.

<https://economy.mos.ru/>

Совершенствование сварочной отрасли

Прогнозируется, что благодаря постоянному развитию технологий и развитию строительства и инфраструктуры мировой рынок сварочного оборудования к 2026 году достигнет более 14,7 миллиардов долларов США.

Технологические достижения в сварочной промышленности могут принести широкий спектр преимуществ, изменяя способы выполнения сварочных операций. Помимо прочего, они могут повысить эффективность, сократить время простоев, повысить безопасность, точность и качество сварочных процессов в целом. Так какие же новейшие, наиболее инновационные инструменты способствуют развитию отрасли?

Робототехника. С годами все больше секторов используют роботов для облегчения своей повседневной деятельности. В последнее время сварочная промышленность последовала этому примеру, внедрив роботов для

обеспечения стабильного качества, максимальной производительности и облегчения процесса наплавки.

Виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR). Сварочные симуляторы виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) используются в этом секторе в учебных целях. Высокотехнологичные гарнитуры создают среду погружения, в которой работники могут безопасно и контролируемо практиковать свои навыки.

Сварочные дроны. Сварочные дроны, оснащенные датчиками, камерами и роботизированными руками, представляют собой инновационные инструменты, которые идеально подходят для проверки труднодоступных или опасных мест. Компании могут сэкономить драгоценное время и деньги. Фактически отпадает необходимость в строительных лесах, которые могут как задержать операции, так и повлиять на финансы бизнеса.

Сварка трением с перемешиванием и лазерная сварка. Одной из самых сложных задач для рабочих является сварка разнородных металлов. В некоторых случаях это практически невозможно. Однако в последние годы была внедрена новая технология — сварка трением с перемешиванием (FSW). В этом процессе используется механическое трение путем приложения давления и вращения металлов на высокой скорости, что в свою очередь заставляет их плавиться и образовывать прочную связь. FSW обеспечивает чистый и точный сварной шов без каких-либо дефектов и пор. Аналогичным образом еще одним мощным и инновационным технологическим достижением является лазерная сварка (LBW). LBW не только гарантирует точность и согласованность, но и может ускорить выполнение длительной и трудоемкой операции.

<https://www.laserfocusworld.com>



Разработки для РЖД

Учеными Владимирского государственного университета (ВлГУ) создана технология ремонта элементов верхнего строения железнодорожных путей методом лазерной наплавки, которая позволяет увеличить срок их службы на 30%. Технология успешно прошла лабораторные испытания и до конца года будет апробирована на полигоне ОАО «РЖД» — сообщил ТАСС доцент кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки», директор Научно-образовательного центра внедрения лазерных технологий ВлГУ Александр Люхтер.

За последние пять лет несколько компаний железнодорожной отрасли сотрудничают с ВлГУ, студенты вуза занимаются лазерной сваркой петель для электрощитового оборудования в тамбурах электричек. «За последние пять лет мы выполнили около 50 тысяч изделий. Проблема была в том, что у завода-изготовителя был брак свыше 50%. Сейчас в стенах нашего университета за одну смену делается месячный объем. Брак — одна петля на тысячу штук», — рассказал Александр Люхтер.

Также вуз занимается сваркой алюминиевых корпусов светильников для электропоездов «Ласточка». «Последние три года мы каждый месяц производим более 200 таких корпусов. Также ежемесячно мы делаем около 150 корпусов для стоп-кранов, которые вы видите в "Ласточке"», — сообщил Александр Люхтер. Помимо этого в вузе выпускают направляющие профили для раздвижных дверей в «Ласточках» и других моделей составов, которые ранее закупались за рубежом.

<https://nauka.tass.ru/>

Освоили 3D-печать

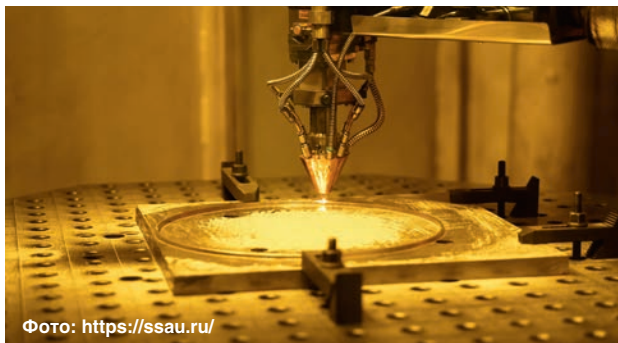


Фото: <https://ssau.ru/>

На самарском предприятии «ОДК-Кузнецов» внедрила комплексную технологию аддитивного производства. Уже освоена печать деталей малоэмиссионной камеры сгорания (МЭКС) промышленного двигателя НК-36СТ. «Выращенные» комплектующие прошли испытания и запущены в серию. Применение МЭКС в двигателях позволяет снижать выбросы вредных веществ в окружающую среду. При производстве деталей используют методы прямого и селективного лазерного выращивания, что ускорило время их выпуска и увеличило коэффициент использования материала. Кроме того, на предприятии разработаны новые виды отечественных порошковых сплавов, в том числе на основе никеля и титана.

https://vk.com/ilist_smtu

www.ritm-magazine.ru

РОССИЙСКИЕ ЛАЗЕРНЫЕ СТАНКИ

Пятикоординатные станки для резки и перфорации

СЛП520



Станина — стальная сварная термостабилизированная. Ход по осям XYZ 600x600x500 мм, размеры предметного стола 600x400 мм. Оптомеханическое наклонно-поворотное устройство BC +135*/360*n. Лазеры твердотельные пико- или фемтосекундные, волоконные.

Системы привязки координатного инструмента к системе координат инструмента

МЛК4



Ручной и автоматический режимы. Ход по осям XYZ 400x250x500 мм, размеры стола 700x500 мм. Машинное зрение, цифровой соосный видеоканал. Встроенный податчик проволоки.

- Модули машинного зрения в каждой модели
- Прецизионные столы на гранитном или сварном основании
- Российские линейные двигатели собственной разработки

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
**ЛАЗЕРЫ
И АППАРАТУРА**

www.laserapr.ru

8 800 550 10 59

sale@laser-app.ru

7 499 390 90 86

г. Москва, Зеленоград, проезд 4922, д. 4, стр. 4

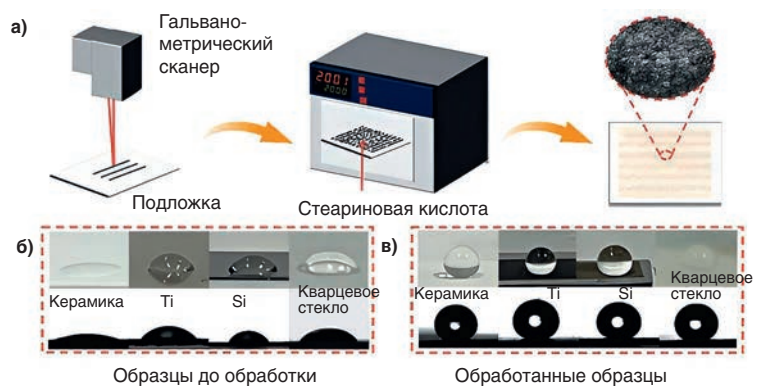
Новая технология создания супергидрофобных поверхностей

Супергидрофобные поверхности, характеризующиеся способностью отталкивать воду с углом контакта более 150° и углом скольжения менее 10° , предполагают широкий спектр применений: от самоочистки и защиты от коррозии до разделения масла и воды и манипулирования каплями. Традиционно создание таких поверхностей было задачей, требующей сложных, трудоемких или специфичных для материала методов. Однако недавние достижения включают такие инновационные методы, как 3D-печать для регулируемой пористости, гидротермальные методы для антибактериальных покрытий и мягкая печать для текстур. Несмотря на эти разработки, сохраняется потребность в более простых и универсальных методах.

Новое исследование, опубликованное 19 января 2024 года в Журнале Центрального Южного университета (Китай), было посвящено новой технологии создания супергидрофобных поверхностей, которые могут эффективно отталкивать воду.

Этот новый метод создания водоотталкивающих поверхностей состоит из двух основных этапов. Во-первых, специальный фемтосекундный лазер используется для вырезания крошечных узоров на различных материалах. Резка очень детализирована и позволяет создавать небольшие структуры, которые помогают улучшить шероховатость поверхности. Затем эти вырезанные лазером поверхности покрывают стеариновой кислотой — веществом, которое делает их водоотталкивающими за счет уменьшения поверхностной энергии.

Такое сочетание лазерной резки и химического покрытия создает прочную водоотталкивающую поверхность. Что хорошо в этом методе, так это то, что его можно использовать для самых разных материалов, таких как металлы,



Изготовление независимых от подложки супергидрофобных поверхностей: а) схематическая диаграмма изготовления независимых от подложки супергидрофобных поверхностей; б) фотографии капель воды, помещенных на керамику Pristine, Ti, Si и кварцевое стекло соответственно; в) оптические фотографии и статические углы контакта капель воды, помещенных на LTC-SA, LTT-SA, LTS-SA и LTQ-SA соответственно. Фото: Журнал Центрального Южного университета (2024 г.)

керамика и пластик, что делает его более универсальным, чем старые методы. Это может быть очень полезно для таких вещей, как защита электронных устройств от воды или улучшение медицинских инструментов.

Профессор Инь Кай, ведущий исследователь, заявил: «Наша технология фемтосекундной лазерно-химической гибридной обработки знаменует собой значительный прогресс в материаловедении, предлагая универсальный подход к созданию супергидрофобных поверхностей на различных подложках».

Позволяя наносить супергидрофобные покрытия на различные материалы, это исследование открывает путь к инновациям в науке о поверхности и технологиях.

<https://phys.org/news/2024-02-technique-superhydrophobic-surfaces.html>

Почти алхимия

Ученые из Федеральной политехнической школы Лозанны (EPFL) вместе коллегами из Токийского технологического института обнаружили удивительное явление. Кратковременное воздействие фемтосекундным лазером на теллуритовое стекло превращало его в полупроводник, чувствительный к свету. Тем самым можно производить фоточувствительные стекла без каких-либо дополнительных материалов и усилий, что ученые в шутку сравнили с алхимией.

Ученых заинтересовало поведение атомов в теллуритовом стекле (TeO_2) при воздействии на него сверхбыстрых импульсов высокоэнергетического лазерного излучения. Они обнаружили, что лазер в месте падения луча создает в толще стекла крошечные кристаллы полупроводниковых материалов теллура и оксида теллура. Это означает, что обработанные таким образом участки могут вырабатывать электричество под воздействием дневного света.

В ходе эксперимента на полученный из Японии диск теллуритового стекла 1 см лазером был нанесен штриховой

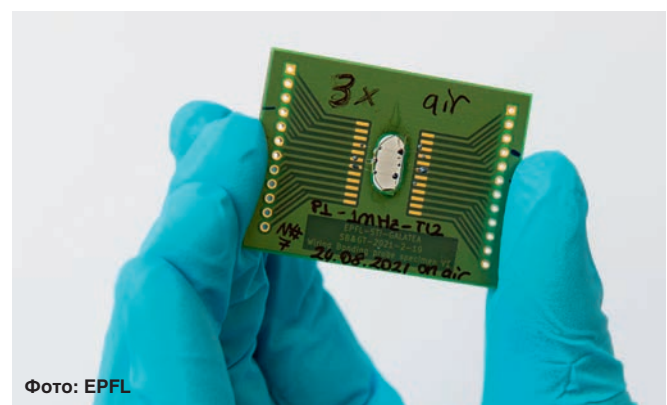


рисунок. Под воздействием света от ультрафиолетового и до видимого диапазона обработанный участок вырабатывал электрический ток, оставаясь месяцами стабильно работающим. Точно так же на стекле можно создавать светочувствительные датчики и другие полупроводниковые схемы, используя для этого только источник лазерного света.

<https://3dnews.ru/>

10–20 кВт станки лазерной резки MARVEL PRO от HGTECH

State-of-art решение лазерной резки сверхвысокой мощности с автозагрузкой и складом!

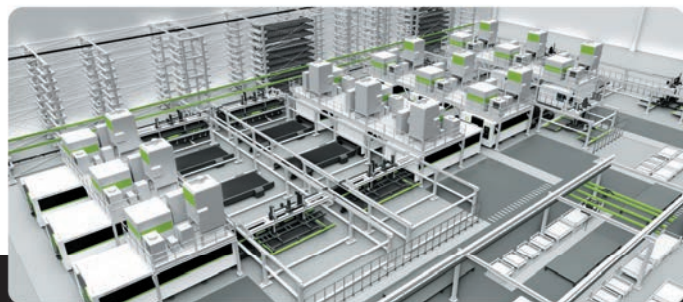


Автоматизированная загрузка/выгрузка

Система управления автоматически подбирает листовой металл со склада, загружает лист в станок и делает раскрой по программе.

Автоматизированная система хранения

Складская система хранения металлических листов обеспечивает рациональное хранение материалов.



Пример реализации

АО «ЛЛС» — официальный дистрибьютор компании **HGTECH** на территории РФ и стран СНГ и предлагает наиболее выгодные условия поставки продукции и полную техническую поддержку.



Лазерная обработка материалов:
оборудование,
технологии,
производство

- Модель лазера: Raycus (КНР)/IPG (РФ), 10–20 кВт
- Скорость перемещения: до 240 м/мин
- Максимальное ускорение: до 4.0 G
- Совместимость с файлами TRUMPF, Bystronic, AMADA и др.
- Автоматическое выравнивание микроподвижек и калибровка



HGTECH (*Kumai*) — ведущий производитель лазерного оборудования для обработки материалов. В ключевую линейку продукции входят станки лазерной резки, системы лазерной сварки, маркировки.

Санкт-Петербург

8 (812) 612 99 82

info@lls-mark.ru

lls-mark.ru

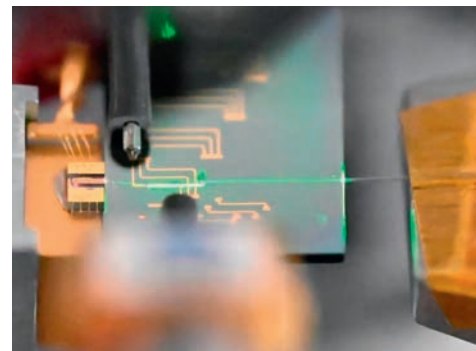
Крошечный, но могучий

Инженеры Калтеха (Калифорнийского технологического института) сообщили о создании миниатюрного лазера с блокировкой мод (MLL), схема которого оптимальна для генерации сверхкоротких импульсов. Лазер настолько мал, что поместится в микросхему. Такое решение поможет совершать точнейшие измерения в микромире, что найдет применение в атомных часах и в аналитических приборах и даже может найти применение в смартфонах.

Для создания миниатюрного MLL-лазера ученые использовали такой материал, как ниобат лития в тонкопленочном исполнении (TFLN). Благодаря ему стало возможным использовать внешние радиочастотные электрические сигналы для точного управления лазерными импульсами. Для создания сверхмалого лазера этот материал был объединен со специальным типом полупроводника, совместимого с TFLN.

Результаты оказались впечатляющими: лазер способен выдавать импульс длиной 4,3 пикосекунды в ближней инфракрасной области с пиковой мощностью около 0,5 Вт. Лазер также оказался универсальным с точки зрения настройки режимов работы, что обещает помочь с его переносом в портативные устройства, которые, правда, еще предстоит разработать.

<https://3dnews.ru/>



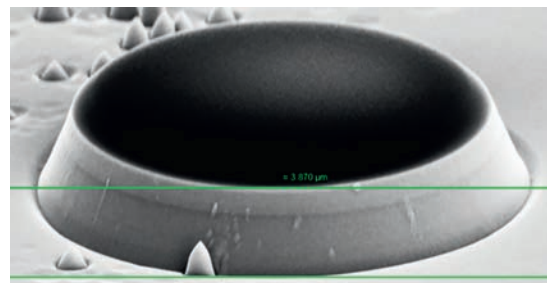
Микродисковый лазер

Специалисты Института физики микроструктур РАН (ИФМ РАН), Института физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН) создали микродисковый лазер с термоэлектрическим охлаждением для среднего инфракрасного (ИК) диапазона на основе полупроводниковых наноструктур теллурида кадмия и ртути. Новый ИК-лазер способен работать на разных длинах волн. Полупроводниковый материал для лазера выращен в ИФП СО РАН: сегодня это единственный в мире научный центр, обладающий технологией синтеза требуемых волноводных структур — множественных квантовых ям на основе теллурида кадмия и ртути.

Лазеры, излучающие в среднем инфракрасном диапазоне, в одном из окон прозрачности атмосферы 3–5 микрон, нужны для экологического мониторинга, медицинской диагностики и химического анализа. В частности, подобные устройства востребованы для поиска утечек метана в шахтах, на газопроводах.

Ранее лазеры с активной средой на квантовых ямах теллурида кадмия и ртути требовали охлаждения не менее чем до минус 120 градусов Цельсия. Сейчас ученым удалось добиться повышения рабочей температуры до минус 43 градусов, что позволяет использовать для охлаждения рабочей среды миниатюрный термоэлектрический преобразователь — элемент Пельтье, а не крупногабаритные установки, такие как криогенные панели. Лазер был сделан в Институте физики микроструктур РАН.

<https://www.isp.nsc.ru/>



Изображение предоставлено Сергеем Морозовым

Компактный лазер



Микромасштабные линзы, напечатанные непосредственно на оптических волокнах. Фото: Мориц Флоесс/Саймон Ангстенбергер

Исследователи из Штутгартского университета успешно объединили 3D-напечатанную микрооптику с волоконной оптикой для создания новой гибридной лазерной системы. Это нововведение подробно описано в журнале *Optics Letters*.

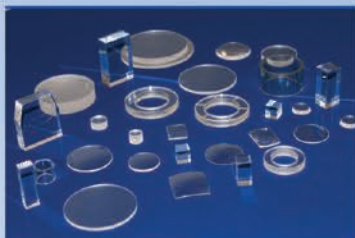
Команда под руководством Саймона Ангстенбергера использовала 3D-технологии двухфотонной полимеризации для прикрепления микроразмерных линз к оптическим волокнам, что позволило создать более компактную и стабильную конструкцию лазерного генератора. Удивительно, но эти линзы на полимерной основе продемонстрировали замечательную стабильность при значительном нагреве и оптической мощности без видимых повреждений после длительного использования.

Эта разработка знаменует собой первый случай использования 3D-печатной микрооптики на основе полимеров в мощных приложениях. Гибридный лазер достиг стабильной работы при мощности более 20 мВт с пиковой мощностью 37 мВт на длине волны 1063,4 нм, что в перспективе позволит использовать его в таких областях, как литография, лазерная маркировка, медицинские приложения.

<https://softed.su/>

Синтетический САПФИР

Производство кристаллов и оборудования



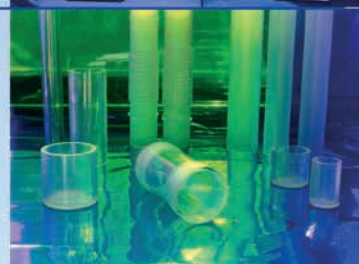
Пластины, окна, подложки:

смотровые, защитные, сканерные окна, часовые стекла, экраны для смартфонов и мобильных телефонов, оптические компоненты



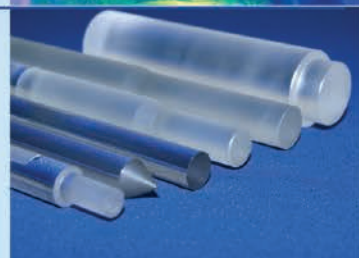
Трубы и тигли

трубки и тигли различной длины и сечения для ламп высокого давления, терморекторов, химических установок, крекинга нефти, чехлы для W-WRe термопар



Стержни круглого и прямоугольного сечения:

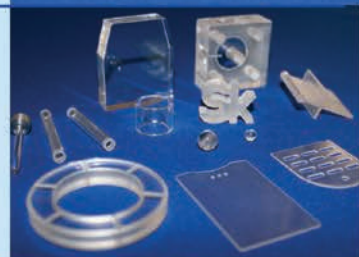
световоды для пирометров, плунжеры для хроматографических насосов и сиквенаторов, электрические изоляторы



Изделия

по индивидуальному заказу:

терморекторы, подшипники, компоненты для научной и медицинской техники, брекеты, сувенирная и рекламная продукция



Оборудование для

выращивания кристаллов:

Методом Киропулоса. Nika-M60
Методом Степанова (EFG). Nika-PROFILE
Методом Чохральского. Nika-3

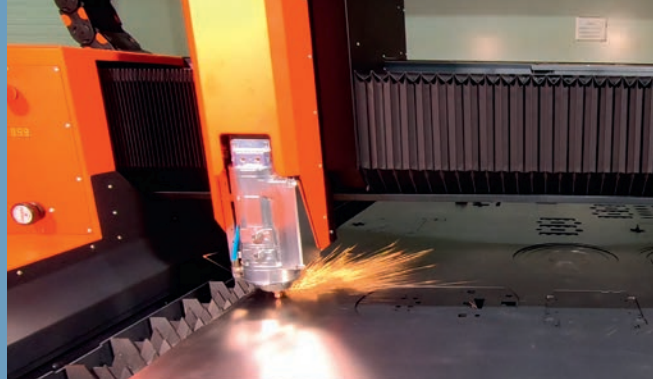


ЗАО «РОСТОКС-Н»

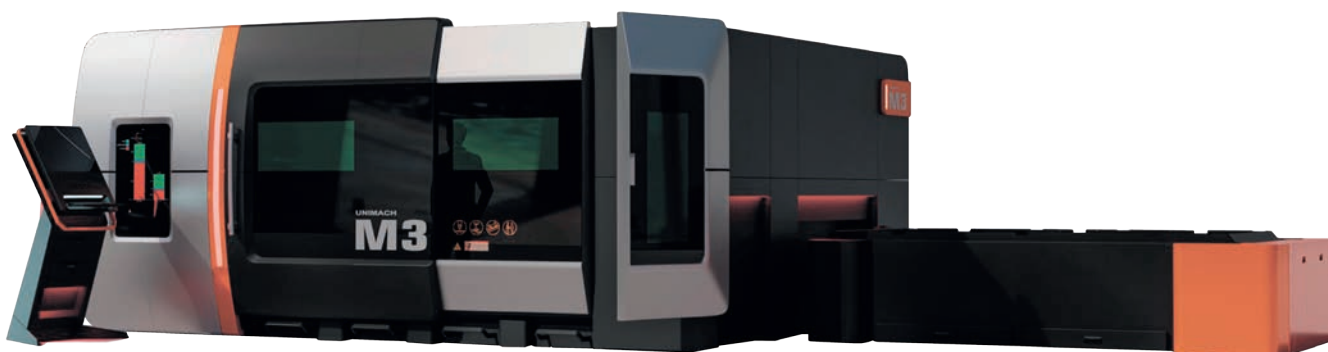
Since 1993

142432 Россия, Московская обл., г. Черноголовка, Проспект Академика Семенова, д. 9, ЗАО «Ростокс-Н»
Тел.: +7 496 527 35 91, +7 496 527 35 96, +7 496 527 35 95 • Факс: +7 496 52 7 36 03
E-mail: rostox-n@yandex.ru, info@rostox-n.ru • <http://www.rostox-n.ru>

СОВРЕМЕННЫЕ СТАНКИ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Компания «НПК Морсвязьавтоматика» (товарный знак *Unimach*[®]) является одним из ведущих российских производителей оборудования для лазерной обработки металла. В номенклатуре компании представлены станки для лазерной резки металла, аппараты для лазерной сварки, сервоприводные листогибочные прессы и множество опций для выпускаемого оборудования. Компания начала свою работу в 2007 году и за прошедшее время поставила своим заказчикам более 1300 станков лазерной резки. Ежегодно «МСА» разрабатывает и производит обновленные модули и опции для своих машин, улучшает характеристики выпускаемых и предлагает новые модели станков. Наступивший 2024 год не стал исключением.



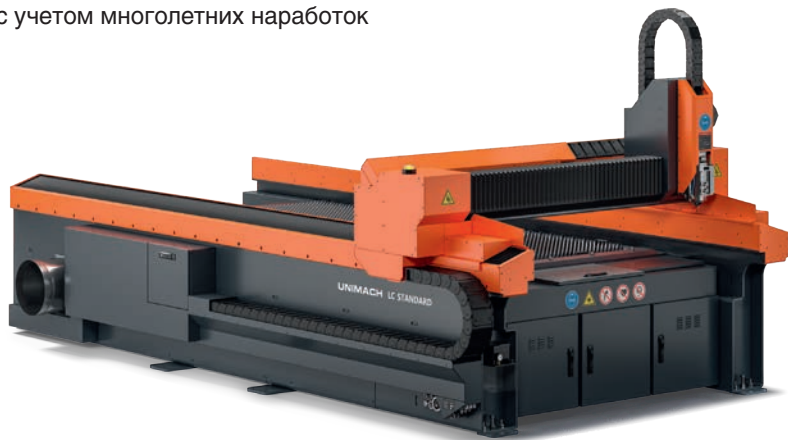
Станок серии Unimach Professional M3

В модельном ряду станков начального уровня появилась сервоприводная машина с улучшенными характеристиками: разработана и производится станина нового поколения с увеличенной жесткостью, улучшенной системой вентиляции, защитой от лазерного излучения для работы с мощными излучателями. Также были переработаны и улучшены механизмы приводов перемещения, что позволило увеличить скорость холостых ходов до 130 м/с, а ускорения — до 2.2 G.

Для станков серии **Unimach LC Master** разработаны новые драйвера линейных двигателей, что вместе с увеличением частоты работы цифровой шины передачи данных позволило работать данным машинам со скоростью холостых перемещений до 160 м/с и ускорениями до 2.6 G.

Также компания разработала и предлагает своим клиентам абсолютно новую серию станков лазерной резки **Unimach Professional M3**. Это следующее поколение известной серии Professional, которая выпускается уже более 15 лет. Она спроектирована с учетом многолетних наработок

и производственного опыта «Юнимаш» и обладает высокими скоростными и динамическими характеристиками: скорость холостых перемещений до 210 м/с, ускорения — до 3.3 G. Лазерные раскройные комплексы серии **Unimach Professional M3** обладают новой усиленной станиной, оптимизированной под лазерные излучатели высокой мощности, новым облегченным композитным порталом,



Станок серии Unimach LC Standard



Автоматическая
оптическая головка
6-го поколения
LH-201

контроллерами перемещений новой разработки, а также удобной компоновкой и современным промышленным дизайном.

При разработке данной модели изначально предусматривалась возможность удобного добавления модулей автоматизации подачи листовых заготовок, что позволит дополнительно повысить производительность станка. Высокая скорость перемещений режущего узла вкупе с использованием излучателей высокой мощности позволит заказчикам производить раскрой изделий в больших объемах и с неизменно высокой точностью.

Все станки производства Unimach комплектуются **автоматической оптической головкой 6-го поколения LH-201**, оснащенной автофокусом, системой защиты от боковых столкновений, светодиодной индикацией текущих режимов работы и ошибок, расширенной системой внутренних датчиков для контроля состояния головки.

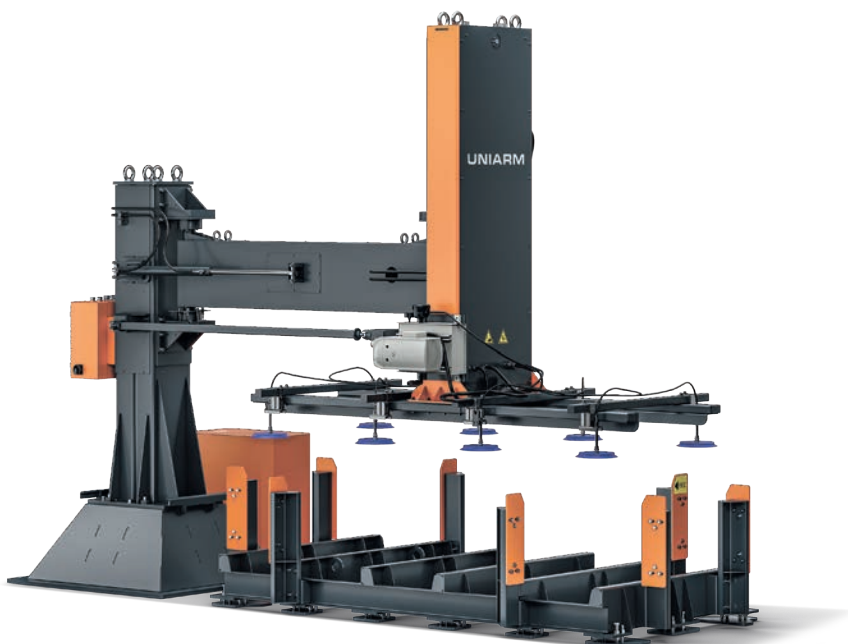
Станки лазерной резки металла Unimach комплектуются **ПО Unicut** собственной разработки компании. Данное управляющее программное обеспечение позволяет быстро и удобно проводить все необходимые операции: работу с библиотекой материалов, раскладку деталей и рисование примитивов, автоматическую или ручную программу раскроя деталей, автораскладку и многое другое. Unicut обладает интуитивно понятным интерфейсом полностью на русском языке и значительно сокращает время на обучение оператора работе на новом типе оборудования.

Для всех лазерных комплексов производится большое количество опций, позволяющих применять станок для широкого спектра производственных задач: автоматические челночные столы, модули резки труб различной формы и профиля, кабинетная защита, модули автоматизации для погрузки и разгрузки листового металла, фильтровентиляционные установки и многое другое. На все части поставляемого оборудования дается гарантия 2 года без ограничения наработки и без разделения гарантии на части станка.

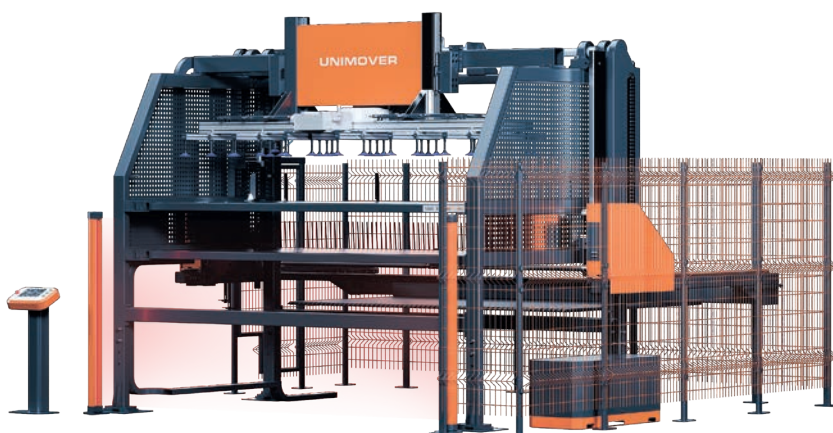
Производственные площадки компании расположены в Санкт-Петербурге. **Компания «НПК Морсвязьавтоматика» всегда рада гостям** и регулярно проводит экскурсии для партнеров и новых клиентов с демонстрацией изготовления всех узлов производимых станков.

Каждый год компания «НПК Морсвязьавтоматика» участвует в профильных мероприятиях, посвященных станкостроению. И в этом году **на выставке «Металлообработка-2024»** будет вновь рада видеть гостей у себя на стенде.

Ждем Вас!



Модуль Uniarm для автоматизации погрузки листовых заготовок



Система автоматизации Unimover



Компания «НПК Морсвязьавтоматика» на выставке «Металлообработка-2023»

20-летие КОМПАНИИ «ЛАЗЕРНЫЙ ЦЕНТР»: от группы инициативных ученых до лидеров отрасли

Сегодня ООО «Лазерный Центр» — ведущий российский разработчик и производитель лазерного оборудования.

За 20 лет существования на рынке компания достигла значительных успехов в разработке и поставке более 4000 единиц оборудования на предприятия различных отраслей, в их числе: «Росатом», «Роскосмос», «ТестПрибор», «ОДК», «Вертолеты России», Концерн ПВО «Алмаз-Антей», «Соколов», «Топаз» и многие другие.

Компания также активно сотрудничает с образовательными учреждениями, университетами и техникумами, поддерживая развитие лазерных технологий. «Лазерный Центр» является главным партнером компетенции «Лазерные технологии» на международном уровне в рамках движения WordSkills.

История компании полна достижений, и в этой статье мы расскажем о некоторых ключевых моментах из истории развития ООО «Лазерный Центр».

1989

Прорыв в производственных технологиях:
появление прототипов промышленных лазеров
Однако, мало кто верил в перспективность этой идеи



ИСТОРИЯ

2004

Регистрируется компания «Лазерный Центр»

Группа молодых ученых выходит на рынок с волоконной лазерной системой маркировки и гравировки «МиниМаркер М10»



ЛАЗЕРНЫЙ ЦЕНТР
LASER CENTER



2008

Мировой финансовый кризис

В тяжелой экономической ситуации «Лазерный Центр» стабильно производит лазерное оборудование и выводит на рынок систему нового поколения «МиниМаркер 2»



2011

«Лазерный Центр» выпускает на рынок станок для микрообработки «МикроСЕТ», который заменяет большой парк консервативного оборудования

Применяется как для отдельных операций:

- создание фотошаблонов
- прецизионная резка
- деметаллизация и др.

так и конечного изделия:

- резисторов, плат
- фазированных решеток
- датчиков и др.



2014 LaserBarking®



Новая технология LaserBarking, применяемая в системах серии «ТурбоФорма», улучшила детализацию и качество рельефных изображений

Сегодня «ТурбоФорма» работает в Монетных дворах, Штемпельно-граверных и ювелирных мастерских



2016

Создание нового ПО – MaxiGraf

Благодаря интуитивно понятному графическому интерфейсу, удобной панели инструментов и меню, работа с программой стала значительно проще и удобнее



maxi graf

Каждый год появляются новые функции, расширяющие возможности ПО

2020

Пандемия COVID-19
Масочный режим и массовая изоляция

Во время пандемии компания успешно ввела строгие санитарные меры для обеспечения непрерывного производства лазерного оборудования и эффективного сотрудничества с предприятиями РОСАТОМа, ВПК, энергетики и транспорта

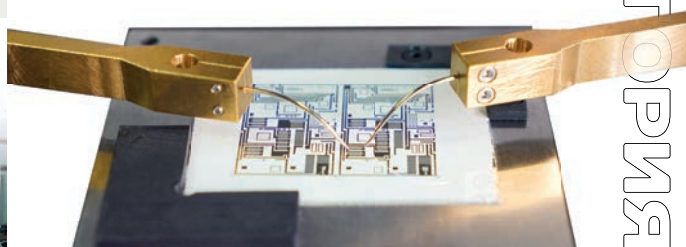


2023

«Лазерный Центр» объявил о выпуске станков серии «Омега» для лазерной подгонки резисторов

Станки оснащены уникальной системой обратной связи для автоматического измерения сопротивления

Программное обеспечение позволяет настраивать станки под индивидуальные требования заказчика, обеспечивая высокую эффективность и удобство



ИСТОРИЯ

2004

ИСТОРИЯ

20 ЛЕТ



На сегодняшний день компания «Лазерный Центр» разрабатывает и производит высокотехнологическое и конкурентоспособное лазерное оборудование на мировом рынке. Наш успех основан на ценностях, большом опыте и научном подходе к разработке передовых технологий.

Команда специалистов «Лазерного Центра» ориентирована на создание оборудования, отвечающего высоким стандартам различных отраслей промышленности. Кроме того, мы тщательно исследуем потребности наших клиентов, чтобы предлагать наиболее эффективные и инновационные решения.

<https://newlaser.ru/>

2024

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ — КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА



Наблюдениями о принципах работы, о бизнес-среде и тенденциях автоматизации в лазерной резке на российском рынке листообработки делится Сергей Масюков, генеральный директор компании «СТМ» — эксклюзивного партнера Han's Laser в России.



Объемы заказов на многих предприятиях, которые занимаются металлообработкой, значительно выросли. Как это отразилось на ваших производственных показателях?

На российском рынке наблюдается две тенденции: замена устаревшей плазменной технологии на современные

лазерные станки; переход с дешевых лазеров на мощные промышленные системы, которые отличаются большей мощностью источника, сменным столом, применением систем автоматизации. Это привело к тому, что за 2023 год мы увеличили объемы поставок в два раза и наш оборот превысил 2 млрд рублей.

Спрос на автоматизацию — это уже устойчивая тенденция. Как это выглядит на практике работы вашей компании?

Большая часть запросов в нашу компанию идет уже с требованием автоматизации, пусть иногда даже и минимальной. Han's Laser — флагман в автоматизации лазерной резки. Компания предлагает современные рабочие решения, которые помогают сократить время цикла обработки, улучшить качество продукции и минимизировать трудозатраты. Это применение систем автоматизированной загрузки/разгрузки сырья, системы адресного хранения и передвижения металла, роботы-хелперы.

Что сегодня более актуально — автоматизация для одного станка или автоматизация для более сложных производственных решений?

Актуально и то, и другое, потому что существует серьезная проблема с кадрами. Поднимать листы и снимать изделия — это работа, не требующая высокой квалификации, но именно таких работников сейчас практически нет. При этом, как ни парадоксально, стоимость именно низкоквалифицированного персонала сильно выросла. Гастарбайтеры скорее уйдут в доставщики и будут там получать 80–120 тысяч рублей, нежели будут тягать тяжелые листы на производстве за 40–60. Так что и зарплаты на производстве выросли, и людей не найти. Идет перемаивание людей из одной сферы деятельности в другую, и единственный аргумент — деньги.

Компенсировать кадровый провал можно только одним способом — убрать человеческий фактор, особенно низкоквалифицированный труд, и заменить его машинами.

По вашим наблюдениям, что чаще побуждает клиента принять решение в пользу автоматизации? Стремление уйти от человеческого фактора? Экономический расчет? Масштабы производства?

На самом деле на принятие такого решения влияет много факторов. Если раньше любой лазерный станок давал преимущество, поскольку рынок не был насыщен, то за последние 3–5 лет тенденция изменилась. Идет интенсивное насыщение рынка оборудованием, и, в принципе, выиграть заказ можно, только если ты будешь давать продукцию быстро, дешево и качественно. Выполнить эту триединую задачу позволяет только автоматизация. Машине не нужен перекур, она не болеет, не уволится ради дополнительных десяти тысяч рублей, которые можно получить в другом месте. По моим наблюдениям, сейчас ключевым фактором становится персонал! Он вырос в цене и его катастрофически не хватает.

Такая финансовая услуга, как лизинг, уже вошла в бизнес-оборот потребителей промышленного оборудования, но нынешняя ключевая ставка Центробанка сужает возможность лизинга. Как это отражается на ваших потенциальных потребителях?

Государство с помощью инструментов фонда развития промышленности (ФРП) сейчас помогает малому и среднему бизнесу приобретать оборудование или, например, через производственную ипотеку приобрести готовую промышленную площадку и быстро запустить производство. Но в связи с тем, что деньги сейчас не выводятся за границу, многие компании могут приобрести — и приобретают! — оборудование за собственные деньги. Я считаю, что инвестирование в развитие производства — дело благое.

Как вам видится дистанция между автоматизацией и умным производством?

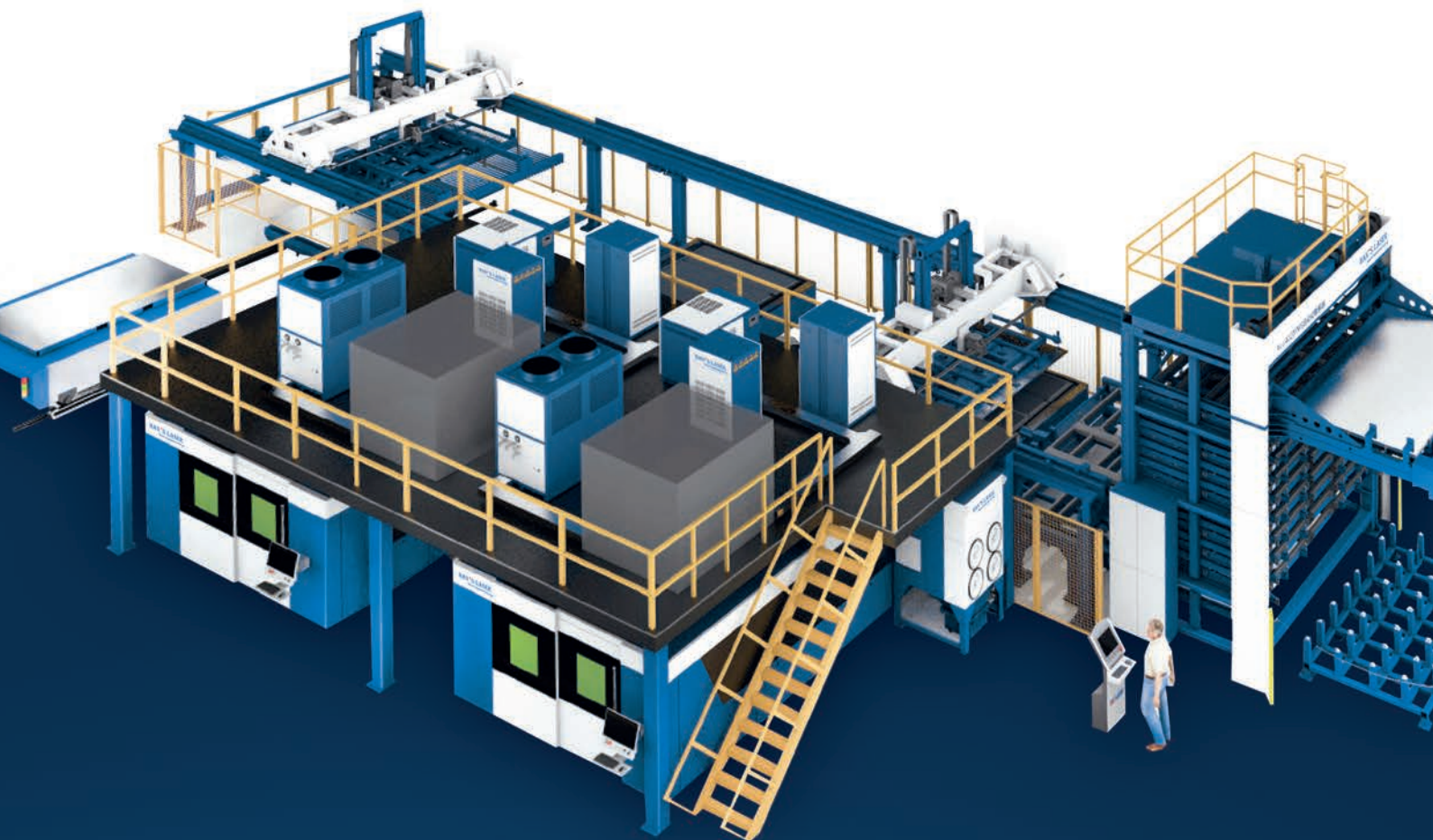
В нашей стране это расстояние кажется значительным. Автоматизация — это процесс, который в какой-то производственной точке убирает человеческий фактор. А если говорить про интеллектуальное производство, то мне пока неизвестно отечественное ПО, которое могло бы полноценно такое производство контролировать, а программы, которые могут это делать, ушли из России вместе с их создателями. Да, наверное, все владельцы бизнеса мечтают,



HAN'S LASER
Smart Equipment Group

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ*

ключевой фактор эффективного производства



7 выгод от внедрения автоматизации в процесс лазерной резки

1. Сокращение сроков выполнения заказов до **50%**
2. Повышение производительности до **50%**
3. Снижение себестоимости до **30%**
4. Уход от человеческого фактора
5. Интеграция с MES-системами
6. Экономия площади до **35%**
7. Экономия ФОТ до **40%**



CTM

Эксклюзивный партнер Han's Laser в России
8 800 550 04 69 | hanslaser@stm-ru.ru

* Применение автоматизированных роботов-манипуляторов для загрузки / разгрузки сырья и систем хранения металла

что будет такая система, которая позволит им, сидя дома, понимать, сколько они сегодня за час заработали, сколько потратили на электричество, сколько заплатили налогов и так далее. Но понимаете, невозможно, например, из феодализма сразу прыгнуть в постиндустриальную эпоху, всё должно эволюционировать. Все-таки начинать надо с автоматизации и постепенно двигаться к интеллектуальному производству. Наверное, для большого предприятия, например, авиационного завода, путь к интеллектуальному производству будет короче, но малый и средний бизнес от этого пока далек.

Кто ваши потребители? Большие предприятия или джоб-шопы?

Мы работаем со всем рынком, компаниями различного масштаба. Безусловно, основной наш сегмент — это крупные предприятия, но работаем и с небольшими компаниями, которые делают ставку на перспективный рост и выбирают оборудование Han's Laser. Среди наших клиентов немало примеров, когда из небольшого джоб-шопа выросло серьезное металлообрабатывающее производство с миллиардными оборотами. Мы со своей стороны обеспечиваем их высокопроизводительным оборудованием, которое позволяет выполнить заказ быстрее, качественнее и дешевле.

От какого объема продаж можно было бы начинать разговор о локализации? И актуален ли для вас такой вопрос?

Это очень интересный вопрос. Сложно сказать, из какой цифры исходить и что производитель получит в результате локализации. Я не сталкивался с аналитикой продаж автомобилей, производство которых было локализовано в России, но, например, завод DMG MORI в Ульяновске или завод BOSCH в Энгельсе более были социальными проектами, нежели только нацеленными на извлечение прибыли. Просто балансировали на грани безубыточности. И ответ на вопрос, насколько нужно это делать с китайским оборудованием, неочевиден. То, что выпускают в Китае, делается в массовом порядке, на высокотехнологичных предприятиях. Мы пока мечтаем о том производстве, которое есть у Han's Laser. Мне кажется, что делать такие инвестиции в Россию китайские производители пока не готовы. Простое сборочное производство, наверное, возможно, но вопрос, что мы в результате получим. Правда, если наше государство введет какие-нибудь заградительные пошлины на уровне 25–30% на ввоз готовой продукции из Китая, то тогда можно рассматривать вопрос локализации здесь, а пока, наверное, даже и смысла нет.

По плотности роботизации наша промышленность отстает на порядок не только от мировых лидеров, но и от средних показателей по миру. Какое отношение к роботам демонстрируют ваши потребители?

Пока многие воспринимают это с осторожностью. Применение роботов-хелперов позволяет быстро повысить производительность на отдельных взятых участках. Мы столкнулись с тем, что после того, как мы поставляем участок лазерного раскроя с автоматизацией, производительность упирается в другие этапы, например такие, как гибка. И мы начали поставлять листогибное оборудование с дополнительной комплектацией роботами-манипуляторами. Таким образом, мы стали делать цеха «под ключ». Мы сейчас

делаем проект, в котором у каждого листогибного станка будет робот, который будет брать заготовки из палеты, гнуть и класть обратно нарезанные изделия. Но пока по использованию роботов нам еще действительно далеко до зарубежных уровней.

Han's Laser наращивает мощность лазеров, и столы уже есть длиной 50 м. Когда новые решения можно будет увидеть на российском рынке?

Я недавно был в небольшом джоб-шопе, где работает три наших станка с лазером 12 кВт. И владелец рассказывает: «Два-три года назад я думал: 4 кВт мне приобрести или 6? И цифра 12 кВт в мыслях просто не возникала, такая мощность казалась для нашего производства чем-то просто заоблачным. А сейчас у меня станок с лазером 12 кВт, и я понимаю, что 12 кВт сегодня насущная необходимость. Без него я потерял бы много заказов».

Среди наших проектов есть стол 30 м на 20-киловаттной голове, в декабре мы заключили контракт на стол 26 м с 30-киловаттной головой. Я бы уже даже не назвал это тенденцией, это сегодня просто норма, потому что, во-первых, технологии подешевели, а во-вторых, металлообработчики начали понимать, что плазменная резка, о которой мечтали и на которой работали, как технология уже морально устареваема. Заместить ее можно только лазерами, которые дадут ниже себестоимость реза, качественные отверстия и кромку. И это будут разумные деньги, сопоставимые с деньгами за хорошие плазменные станки, тем более что все производители плазменных станков страну покинули. Сейчас на рынке только российские и китайские станки, качество которых несопоставимо с качеством продукции мировых лидеров.

Расскажите, пожалуйста, о проекте, над которым вы сейчас работаете.

Один наш клиент, который получил большой заказ от крупного вагоностроительного завода, инвестировал значительные средства в цех 4000 кв. м, где будет серьезная автоматизация. В цеху будет 6 станков лазерной резки, роботизированная линия хранения и автоматической раскладки металла по станкам и сбора деталей, плюс 4 гибочных прессы, укомплектованных роботами-манипуляторами, плюс координатно-пробивные прессы, плюс большая шестиметровая гибочная машина tandem на 600 с лишним тонн. То есть это серьезное мощное производство. А заказ у них и появился в связи с тем, что подрядчики, которые раньше работали на оборудовании известных европейских и японских производителей, столкнулись с масштабной проблемой устаревания оборудования в сочетании с отсутствием запчастей для него. Даже если какими-то сложными путями попробовать его приобрести, то сроки поставки никого устроить не могут. В результате крупные компании начали притормаживать конвейеры, срывать плановое выполнение работ, что для производства просто недопустимо. Это проблема всех отечественных производственных предприятий. Естественным было начать искать другие подрядные компании, которые способны обеспечить серьезные объемы, что, как я уже говорил, без автоматизации невозможно. Вместе с отделом R&D мы посчитали, какую экономию получит клиент: на площади — до 35%, на фонде оплаты труда и персонале — до 40%. И это на фоне повышения производительности на 20–100% в зависимости от сложности обрабатываемого металла.

<https://hanslaser.stm.ru.ru>

РОССИЙСКИЙ РЫНОК ПРОМЫШЛЕННОЙ МЕТРОЛОГИИ

Согласно исследованию маркетингового агентства Research and Markets (www.researchandmarkets.com) от января 2024 года, в последние годы объем мирового рынка промышленной метрологии уверенно растет. Он вырастет с \$10,37 млрд в 2023 году до \$11,23 млрд в 2024 году при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 8,2%. Рост, наблюдавшийся в данный период, можно объяснить несколькими факторами, в том числе необходимостью соблюдать требования по обеспечению качества, упором на точность производства, глобализацией цепочек поставок, ростом автомобильной промышленности, повышением эффективности производственных процессов и соблюдением соответствий стандартам качества.

В 2028 году рынок вырастет до \$15,13 млрд при совокупном годовом темпе роста (CAGR) 7,7%. Ожидаемый рост можно объяснить различными факторами, в т.ч. появлением интеллектуальных заводов, растущим спросом на портативные метрологические решения, достижениями в разработке материалов, инновациями в освоении космоса и аэрокосмической отрасли, а также повышенным вниманием к миниатюризации. Ключевые тенденции, ожидаемые в прогнозируемый период, включают индивидуализацию

«МС Метролоджи» — поставщик промышленных технологий контроля качества



Максим Каневский,
генеральный директор

2023 год был для нас успешным. Компания «МС Метролоджи» увеличила все свои показатели. Мы стремимся быть полезными и помогать производителям выпускать качественную и безопасную продукцию, предлагая самые современные решения и высокий уровень сервиса.

В 2023 году мы смогли обеспечить наших клиентов надежным измерительным оборудованием и выполнить все взятые обязательства.

И в целом за последние 23 года мы успешно внедрили более 1500 измерительных систем, что подтверждает нашу экспертизу и доверие наших клиентов, оставаясь лидером отрасли.

Российский рынок измерительного оборудования, как и все машиностроение, находится на подъеме. У наших клиентов существует запрос на отечественную продукцию, которую пока еще никто не может предложить на рынке в России. Наиболее востребованы на рынке координатные измерительные машины различных типов, которые являются неотъемлемой частью производственного процесса в машиностроении. Кроме того, пользуются спросом контурографы, кругломеры и видеоизмерительные машины, ручной измерительный инструмент.

На данный момент в России практически отсутствуют производители оборудования для контроля геометрии деталей. Это несет высокие риски для нашей отрасли, и необходимо приложить все усилия, чтобы начать

производственных процессов, интеграцию приложений дополненной реальности (AR), внедрение технологии цифровых двойников, более широкое использование роботизированных метрологических систем и растущее внедрение методов 3D-метрологии.

О тенденциях развития российского рынка контрольно-измерительного оборудования и инструмента для промышленных задач редакция журнала «РИТМ машиностроения» традиционно узнала у экспертов отрасли, задав следующие вопросы:

1. Каким для вас был прошедший год?
2. Как вы оцениваете нынешнее состояние российского рынка измерительного оборудования и инструмента?
3. Какие типы оборудования, по вашим наблюдениям, особенно востребованы?
4. По каким позициям конкурентоспособно отечественное измерительное оборудование?
5. Требуется ли отечественным компаниям поддержка? Если да, то какая?

производство измерительного оборудования в России. Эта задача требует значительных усилий и инвестиций, поэтому она не может быть решена в одночасье. Мы планируем поэтапно реализовать задачу, начав с конструкторской документации и сборки полного цикла, постепенно занимаясь локализацией производства комплектующих. По нашей оценке, это может занять 3–5 лет.

Со времен СССР и до сих пор измерительных машин портального типа в нашей стране не производилось. Отсутствуют конструкторы и другие специалисты в этой области. Кроме того, объем российского рынка относительно мирового рынка менее 1%. Компании, работающие, например, в Китае, могут обеспечить высокую загрузку своих предприятий и получить более низкую себестоимость конечного изделия благодаря комплектующим от местных производителей. В нашей стране до сих пор существуют сложные и дорогостоящие процедуры испытания и утверждения типа, которых нет в других странах. Необходимо упростить все бюрократические процедуры, мешающие выпуску новых средств измерения в России. Также требуется поддержка в привлечении конструкторских компетенций и финансировании приобретения технологии за рубежом или своих НИОКРов. Кроме того, необходима защита рынка для предприятий, инвестирующих в производство, чтобы они смогли встать на ноги и развиваться, создавая эту отрасль внутри страны. Опыт других стран показывает, что для этого требуется 7–10 лет.

Я УБЕЖДЕН, ЧТО ОБЕСПЕЧИТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ СУВЕРЕНИТЕТ ВОЗМОЖНО, НО ДЛЯ ЭТОГО НЕОБХОДИМО НАЛАДИТЬ ПРОИЗВОДСТВО ВЫСОКОТОЧНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ В РОССИИ. ЭТО СЛОЖНАЯ, НО РЕШАЕМАЯ ЗАДАЧА.

Компания «Акметрон» — разработчик и поставщик контрольно-измерительного оборудования

Павел Маслов,
руководитель направления
«Радиоизмерительные
приборы и решения»

Для компании «Акметрон» 2023 год был крайне успешным. Мы вышли на максимум за всю историю компании по количеству и масштабности реализованных проектов, подписали соглашения о сотрудничестве с новыми иностранными и российскими производителями контрольно-измерительного оборудования, запустили новые направления: сервисный центр, промышленная и лабораторная мебель, оснащение производств. Отвечаем на запросы рынка, который сейчас крайне

нуждается в высоком уровне экспертизы: у нас все сотрудники имеют профильное инженерное образование и огромный опыт в отрасли, поэтому после ухода западных компаний (и следом отъезда многих специалистов за границу) это ниша оказалась крайне дефицитной, и мы стараемся ее максимально закрыть. В 2023 году рынок стабилизировался после коллапса 2022 года, когда многие западные бренды ушли с российского рынка. Фактически освободились ниши высокочастотного оборудования, которые активно начали занимать производители из дружественных стран, а также для российского производителя распахнулось окно возможностей, которое привело к активному развитию технологий и производства в РФ. В 2023 году мы наблюдаем значительный рост рынка КиП.

Относительно наиболее востребованных позиций однозначно невозможно ответить: есть рынок приборов общего назначения, где традиционно лидируют осциллографы, мультиметры, источники питания. Если говорить про сегмент высокочастотного наукоемкого оборудования, то здесь высокий спрос на анализаторы цепей, генераторы сигналов и анализаторы спектра в частотном диапазоне до 50 ГГц.

Однозначно российские анализаторы цепей могут составить мощную конкуренцию западным образцам. Также в последние несколько лет появились отечественные генераторы сигналов и анализаторы спектра, пока, конечно, это не западный уровень, но есть куда развиваться. Стоит отметить достоинства отечественных ручных зондовых станций и беззачеховых камер для антенных измерений. Также большое развитие получило производство СВЧ-аксессуаров, которое в значительной степени закрывает спрос в РФ. В целом политика импортозамещения дает свои плоды.

Что касается поддержки отечественных компаний, то, безусловно, поддержка необходима! Любому высокотехнологичному производству предшествует длительный и затратный период исследований и разработки. И это целый комплекс, в который зачастую включены сразу несколько звеньев: конструкторские бюро, НИИ, производство. Поддержка нужна и финансовая, и организационная, и стратегическая. Отдельной болью отрасли является дефицит кадров, и эту проблему можно решить только сверху, формируя сильную физико-математическую базу в школах,

расширяя профильные программы в вузах и создавая максимально привлекательные условия дальнейшей работы для выпускников.

СЕЙЧАС, КОГДА ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ЯВЛЯЕТСЯ ЗАЛОГОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СТРАНЫ, КАК НИКОГДА ВАЖНА СИЛЬНАЯ РУКА ГОСУДАРСТВА И ПОДДЕРЖКА РОССИЙСКОЙ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА.

Челябинский научно-исследовательский и конструкторский институт средств контроля и измерения в машиностроении

Игорь Сурков,
директор, к.т.н.,
член-корреспондент
Метрологической
академии РФ

Весь 2023 год для ЗАО «ЧелябНИИконтроль» был относительно успешным, запросов на нашу продукцию много, есть возможность выбирать наиболее выгодные заказы с предоплатой. Эта тенденция сохранилась, производственный участок загружен работой до июля 2024 года, новые запросы продолжают поступать. Некоторую неудовлетворенность вызывает структура заказов: из всей многочисленной номенклатуры нашей продукции (более 150 наименований) моделей приборов для измерения геометрических параметров деталей машиностроения) стабильный спрос существует в основном на простейшие индикаторные средства измерения.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПОКАЗАЛ, ЧТО ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ НЕВОЗМОЖНО БЕЗ ГИБКИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ.

На машиностроительных предприятиях необходимо внедрять новые методы и средства контроля, в том числе наиболее эффективные на сегодняшний день координатные измерительные машины (КИМ), приборы (КИП) и системы (КИС) различных компоновок и типоразмеров. Положенный в основу работы КИМ, КИП и КИС координатный метод измерения является наиболее универсальным и может эффективно применяться для автоматизированного контроля практически всех требуемых геометрических параметров широкой номенклатуры прецизионных деталей и инструментов.

Внедрение методики координатных измерений в России сдерживается из-за ряда факторов:

— высокая стоимость новой КИМ (100–500 тыс. евро, уникальные КИМ — до 1 млн евро) и программного обеспечения (примерно 15–25 тыс. евро за базовое ПО и по 5–10 тыс. евро дополнительно за каждый специализированный программный модуль, например, для контроля параметров зубчатых колес, резьбовых поверхностей, турбинных лопаток и т.д.);

— большая часть КИМ и ПО поставляется на наш рынок зарубежными производителями (раньше это были в основном фирмы из недружественных стран (DEA, Zeiss, Leitz и др.), сейчас акцент сместился на предприятия из Китая и Индии), что увеличивает время поставки оборудования и запчастей, ставит предприятия России (в том числе оборонные) в зависимость от политической конъюнктуры и законодательных ограничений других государств. Единственный российский производитель универсальных КИМ — фирма «Лапик» (г. Саратов). Проектирование и производство специализированных КИМ и КИС осуществляется в ЗАО «ЧелябНИИконтроль»;

— отсутствие на большинстве машиностроительных предприятий подготовленных кадров: инженеров-метрологов, контролеров, операторов-наладчиков КИМ. Нет целевых образовательных программ по подготовке и переподготовке специалистов в области автоматизации технического контроля и координатной метрологии;

— нет крупных НИИ и организаций, выполняющих масштабные НИОКР в области координатной метрологии, отсутствуют соответствующие задачи в паспортах научных специальностей;

— практически отсутствует нормативное и методическое обеспечение координатной метрологии: стандарты, руководящие материалы, методики выполнения координатных измерений типовых деталей.

Уже более двадцати лет в ЗАО «ЧелябНИИконтроль» выполняется проектирование и изготовление новой серии многофункциональных измерительных приборов и систем модульной конструкции, предназначенных для высокоточных измерений деталей и инструментов со сложнопрофильными поверхностями, в том числе специализированных координатно-измерительных приборов и систем. Проводится разработка методического, математического, информационного и программного обеспечения процессов координатных измерений. В рамках плана НИОКР на стадиях проектирования, изготовления и испытаний новых измерительных приборов и систем проводятся масштабные теоретические и экспериментальные исследовательские работы. Результаты научных исследований используются не только при проектировании и производстве новых измерительных приборов и систем, создании ПО для координатных измерений, но и для разработки нормативной документации: методик измерений, поверки и калибровки, технических условий, стандартов. Есть, правда большое но, и не одно. ЗАО «ЧелябНИИконтроль» — небольшое частное предприятие, государственного финансирования НИОКР никогда не получало, все исследования и изготовление опытных образцов выполнялись за счет собственных средств, которых было явно недостаточно, чтобы «догнать и перегнать» ведущих мировых производителей координатно-измерительного оборудования.

Что необходимо делать? Год назад уже приходилось отвечать на вопросы в аналогичном опросе. Часть ответа была как раз посвящена мерам по развитию координатной метрологии в России. Изменений не произошло.

ЗА ПОСЛЕДНИЕ 2 ГОДА СО СТОРОНЫ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТРУКТУР БОЛЬШИЕ УСИЛИЯ БРОШЕНЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИИ, ФИНАНСИРОВАНИЕ НИОКР, ПОМОЩЬ В ПЕРЕВООРУЖЕНИИ И РАСШИРЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БАЗЫ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СТАНКОВ И РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ. ОДНАКО НИЧЕГО НЕ ДЕЛАЕТСЯ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ РАЗВИТИЯ РАЗРАБОТЧИКОВ И ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

Два года уже потеряны, а ведь чтобы провести полноценные НИОКР для проектирования российских современных измерительных приборов и систем (тех же КИМ, САК и т.д.), подготовку производственной базы и обучение квалифицированных специалистов, для выпуска которых потребуется не меньше 4–6 лет и десятки миллиардов рублей инвестиций. Понятно, что небольшим частным предприятиям это не под силу, требуется соответствующая государственная программа развития, в которой конкретно, с реалистичными сроками расписать этапы НИОКР, запуска производства критических комплектующих (например, для КИМ это контроллеры управления движениями и обработки информации о текущих координатах, измерительные головки, узлы координатных перемещений, линейные и угловые измерительные преобразователи (энкодеры) и т.д.), разработки полноценного программного обеспечения, подготовки производственной базы и сервисных центров, обучения специалистов. Правда, собственный опыт подсказывает, что все эти планы могут не принести положительного результата, если контракты будут получать «свои» предприятия, не имеющие соответствующих компетенций, сроки будут минимальными, а финансирование на уровне стоимости одного серийного импортного прибора (без учета всех затрат на НИОКР, в том числе затрат на неудачные варианты и тупиковые результаты исследований, а их при разработке новых изделий не избежать). Все это приведет к ожидаемому результату: вместо полноценных научных исследований с формированием соответствующих компетенций у российских инженеров, разработки полного комплекта конструкторской документации и изготовления собственного опытного образца (пусть даже с отставанием некоторых функциональных возможностей от мирового уровня) и последующим запуском серийного производства все ограничится покупкой импортной КИМ или САК с переклеиванием шильдика.

Хочется добавить: мы адекватно оцениваем собственные производственные и кадровые возможности и, несмотря на двадцатилетний опыт работы в области координатной метрологии, претендовать на руководящую и направляющую роль не собираемся. Но если вдруг у соответствующих государственных структур возникнут планы выполнения комплекса НИОКР и развития производства координатно-измерительной техники в России, будет выделено адекватное поставленным задачам и долговременное финансирование, то ЗАО «ЧелябНИИконтроль» готов влиться в работу.

КОНТРОЛЬ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ВАЛОВ И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Нет столь великой вещи, которую не превзошла бы величиною еще большая.
Козьма Прутков

В данной статье мы расскажем историю одного предприятия и двух решений его измерительных задач «со звездочкой».

Предприятия российского машиностроения продолжают адаптироваться к условиям современной реальности, наращивать объем производства и осваивать выпуск новых видов продукции, неизбежно сталкиваясь с необходимостью решать новые измерительные задачи. И некоторые из них требуют нестандартных решений в условиях высоких требований к качеству и скорости производства.

В «МС Метролоджи» обратился постоянный заказчик с новыми для него измерительными задачами. Это частное производство, которое изготавливает различные детали и узлы для нескольких двигателестроительных предприятий нашей страны. Тип производства — серийное.

Ранее с данным заказчиком наша компания уже реализовывала решения для контроля деталей и узлов по следующим параметрам:

- измерение геометрических параметров профиля пера турбинных и компрессорных лопаток;
- измерение зубчатых колес;
- измерение линейных и угловых размеров;
- измерение позиционных допусков;
- измерение соосности и концентричности;
- измерение симметричности;
- измерение цилиндричности;
- измерение биений;
- измерение плоскостности;
- измерение угловых положений;

В связи с освоением новых типов изделий у предприятия возникла необходимость контролировать валы со следующими характеристиками:

- диаметры валов от 150 мм до 445 мм;
- длина от 400 мм до 1300 мм;
- масса от 10 кг до 208 кг.

Параметры, которые нужно контролировать на новых изделиях, точнее, на посадочных частях вала:

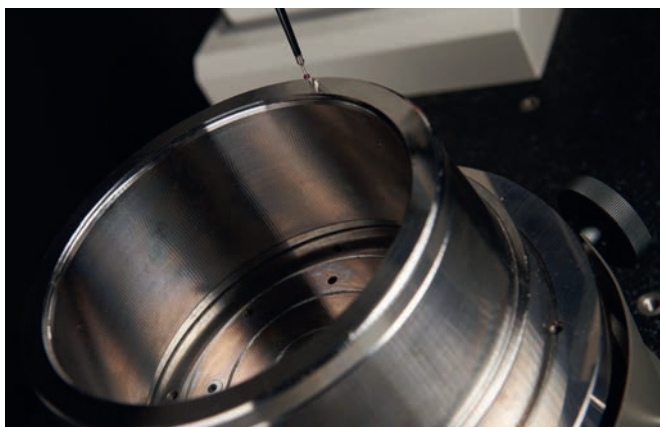
- отклонения от круглости;
- профиль продольного сечения;

- цилиндричность;
- осевое биение;
- плоскостность.

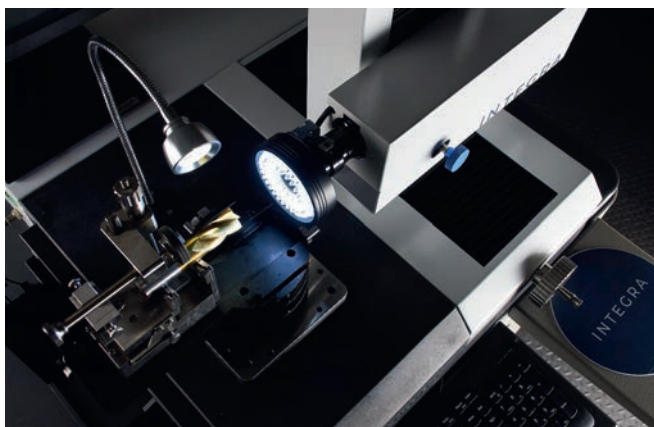
На первый взгляд может показаться, что для решения этих задач можно использовать универсальное измерительное оборудование — координатную измерительную машину. Но есть одна особенность, которая не позволяет ее использовать, — допуски на указанных деталях от 2 мкм.

Для контроля таких допусков требуются специализированные системы для измерений отклонений формы и расположения поверхностей вращения. После тщательного анализа чертежей и оценки требуемых допусков инженерами «МС Метролоджи» был предложен специальный **кругломер INTEGRA COURSE S30 HP**. Он обладает грузоподъемностью рабочего стола 210 кг и колонной высотой 1300 мм. Это специальная версия кругломера S30 в исполнении HP («Heavy Parts» — «Тяжелые детали») для измерения деталей, вес и габариты которых не позволяют использовать стандартный кругломер. Так была решена первая задача «со звездочкой».

Однако чтобы контролировать валы с такой точностью, их необходимо и изготавливать с соответствующей точностью. В этом процессе важную роль играют станки, технологические процессы обработки и инструмент, которым проводится обработка деталей. Только правильно выбранная геометрия режущего инструмента позволяет обеспечить высокопроизводительную обработку. Например, слишком большое увеличение переднего угла приводит к поломке режущего инструмента. Отсюда вытекает необходимость правильного выбора всех геометрических параметров рабочей части инструмента. Инструмент нужно проверять как в процессе наладки, так и в процессе работы, чтобы своевременно оценивать уровень износа режущих пластинок, точность геометрии, состояние режущей кромки и т.д.



Кругломер Integra Course



Прибор для контроля режущего инструмента Integra Trek Toolranger

Какие еще измерительные задачи вы решите с «МС Метролоджи»?

Задача	Решение
Измерение геометрических параметров профиля пера турбинных и компрессорных лопаток	КИМ с модулями для контроля профиля пера турбинных и компрессорных лопаток
Контроль зубчатых колес (прямой, косоугольный, конический, червячные колеса, долбяки)	КИМ с модулями ПО для контроля необходимых типов зубчатых колес. Нет необходимости выбирать все модули, если вы выпускаете только зубчатые цилиндрические колеса. Возможно добавить их в любой момент при увеличении номенклатуры производства.
Измерение линейных и угловых размеров <ul style="list-style-type: none"> • измерение позиционных допусков • измерение соосности и концентричности • измерение симметричности • измерение цилиндричности • измерение биений • измерение плоскостности • измерение угловых положений 	Мобильные КИМ типа «рука», КИМ, кругломеры INTEGRA
Измерение плоских шаблонов, печатных плат	Видеоизмерительные микроскопы и мультисенсорные машины INTEGRA
Контроль ШВП, резьбы или сложного контура	Контурографы INTEGRA
Замена вышедшего из строя или устаревшего профилографа или профилометра	Профилометры INTEGRA

Так появилась вторая задача «со звездочкой» нашего заказчика. Сложность ее заключалась в том, что в настоящее время поставка, гарантия и поддержка со стороны производителей оборудования для контроля режущего инструмента, ранее широко распространенного на большинстве российских машиностроительных предприятий, стала практически неосуществимой.

Для контроля режущего инструмента инженеры «МС Метролоджи» предложили **специализированный оптический прибор INTEGRA TREK TOOLRANGER**.

Прибор работает по принципу действия измерительного микроскопа, когда изображение детали при помощи оптики высокого разрешения захватывается цифровой камерой и происходит расчет ее размеров. Для корректного измерения различных частей и параметров инструмента прибор оснащается контурной светодиодной подсветкой, боковой кольцевой регулируемой подсветкой, а также вспомогательной подсветкой. Положение и угол режущего инструмента регулируется в особом креплении.

Причины, которые повлияли на выбор заказчика:

- Широкий список контролируемых параметров: глубина канавки, наружный диаметр, передний угол, задний угол, угол наклона спирали и др.
- Экономия времени: теперь контроль инструмента можно проводить прямо у станка.
- Простота использования: прибор обладает простым и интуитивным управлением, что позволяет быстро освоить работу с ним.
- Высокая точность измерений: благодаря оптике высокого разрешения и цифровой камере прибор обеспечивает точные и надежные измерения размеров режущего инструмента с погрешностью $2.5 + L / 100$ мкм.
- Надежность и гарантированная поддержка: приобретая INTEGRA TREK TOOLRANGER, заказчик получает надежный прибор с гарантией и полной технической поддержкой от компании «МС Метролоджи».

Подводя итог, хочется отметить, что с компанией «МС Метролоджи» можно смело обсуждать свои производственные задачи и быть уверенным в том, что решение найдется обязательно. Инженеры компании имеют большой опыт работы на крупных машиностроительных предприятиях и хорошо знакомы со всей линейкой оборудования. Они понимают все возможные узкие места, с которыми сталкиваются многие предприятия, и предлагают практические рабочие решения для всех возникающих вопросов.

Так почему же стоит обратиться к одному надежному поставщику? Зачем складывать все яйца в одну корзину?

1. Оперативная проработка решения связанных задач, которые возникают на каждом производстве (в рассмотренном случае: контроль валов + контроль режущего инструмента)
 2. Комплексное решение: мы подбираем все системы для исчерпывающего решения задачи. Это гарантирует достижение нужного конечного результата.
 3. Меньше рисков: обращаясь к проверенному поставщику, вы заключаете только один договор, что повышает контроль и уверенность в исполнении объема и сроков поставки.
- И это лишь некоторые из аргументов в пользу выбора проверенного поставщика!

О КОМПАНИИ

«МС Метролоджи» разрабатывает и внедряет технологии контроля качества в области линейно-угловых измерений для различных областей промышленности. Оказывает комплексные услуги по выбору, поставке и внедрению измерительных систем и другого метрологического оборудования «под ключ».

«МС Метролоджи»
Генеральный директор – Максим Юрьевич Каневский
 Спб., Октябрьская наб., дом 10, к. 1
 8 (812) 336-40-50
<https://www.metrologi.ru/>

ЧТО НУЖНО ДЛЯ УСКОРЕННОГО РАЗВИТИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ?

Развитие аддитивных технологий в мире идет быстрыми темпами. В России данному направлению также уделяется большое внимание, но объем отечественного рынка в разы меньше мирового. Все ли возможное делается со стороны государства для того, чтобы сократить дистанцию с лидерами? Какая поддержка была бы полезна для ускоренного развития наших компаний? С этими вопросами редакция журнала «РИТМ машиностроения» обратилась к директору по развитию и GR «НПО «3D-Интеграция» Василию Панкратьеву.



Государственная поддержка важна и была бы очень своевременна для российских компаний, развивающих аддитивные технологии (АТ) в России.

Мы предлагаем помогать прежде всего коммерческим компаниям — российским производителям аддитивного оборудования и аддитивным центрам. Коммерческие компании динамичны, мобильны, эффективны, нацелены на результат во всех смыслах.

Помогая им, отрасль в целом будет получать качества этих компаний и быстро развиваться.

ПРЕДЛАГАЕТСЯ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ ПОДДЕРЖКУ ПО ЧЕТЫРЕМ НАПРАВЛЕНИЯМ: ГОСПОДДЕРЖКА РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ — ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ, ГОСПОДДЕРЖКА АДДИТИВНЫХ ЦЕНТРОВ, ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ АДДИТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ГОСПОДДЕРЖКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ, СПОСОБНЫХ ГОТОВИТЬ КАДРЫ ДЛЯ РАБОТЫ С АТ; СНЯТИЕ БАРЬЕРОВ, МЕШАЮЩИХ РАЗВИТИЮ АТ.

1. Для господдержки российских производителей аддитивного оборудования предлагается создать технологический парк специально для производителей аддитивного оборудования, разработчиков материалов и компаний, оказывающих услуги 3D-печати. Освободить резидентов от налогов и арендной платы на несколько первых лет резидентства.

2. Господдержка аддитивным центрам/пользователям АТ может выражаться в субсидировании закупок российского аддитивного оборудования до 75%, нероссийского — 25% для любой компании: коммерческой и государственной. Необходимо создание венчурного фонда развития АТ, который финансировал бы деньги на развитие аддитивных центров, центров импортозамещения, центров обратного проектирования, центров коллективного пользования, использующих аддитивное оборудование за долю в бизнесе. Обязательным условием данных центров должно быть наличие не менее 50% российского оборудования в проекте.

3. Господдержка образовательным учреждениям может включать: субсидирование 75% стоимости оборудования,

приобретаемого образовательными центрами, имеющими программы обучения работы на данном оборудовании. Возможно прохождение практики студентами этих университетов в аддитивных центрах, получивших субсидии, как их обязательство при получении субсидии.

4. Для снятия барьеров:

- Прежде всего нужно создать межотраслевые ГОСТы на материалы для АТ, чтобы конструкторы могли их закладывать в создание изделий. Должны быть созданы экспертные группы с обязательным привлечением межотраслевых институтов. Экспертам необходимо определить наиболее востребованные материалы, выработать систему и правила тестирования материалов, определить бюджет, получить финансирование данного проекта, провести тесты (за деньги), создать по итогу ГОСТы.

- После чего под эти ГОСТы необходимо проводить конкурсы для компаний-производителей, которые могут принять участие в субсидированной государством программе паспортизации. Производители должны доказать по установленным программам испытаний наличие у них повторяемых серий и взять на себя обязательства (вплоть до финансовых) иметь возможность поставлять эти серии в течение минимум 5–10 лет. В данной программе могли бы принять участие любые новые компании, которые бы выходили на российский рынок или создавались на нем. Система должна оставаться открытой и работать длительное время.

- Экспертами должны быть выбраны 5–10 материалов, которые закрывали бы 80% потребностей рынка и должны быть субсидированы на паспортизацию для устройств, прошедших квалификацию по повторяемости. Расходы на паспортизацию должно взять на себя государство. Паспортизоваться должны материалы и компании с устройствами, которые хорошо работают, а не те, владельцы которых имеют деньги и делают это своим конкурентным преимуществом. Отрасль должна получать доступ к решениям лучшим по качеству, а не к решениям, которые им навязывают акционеры богатых компаний. Система субсидированной паспортизации должна работать долго и быть открытой. Все должны про нее знать и в случае прохождения квалификации встраиваться в эту систему.

- Субсидия могла бы быть частичной. Даже 50/50 было бы достаточно, чтобы сдвинуть все с мертвой точки.

- Чтобы удешевить процесс паспортизации между отраслями, должна быть создана система принятия протоколов испытаний. Паспортизованные материалы и устройства в одной отрасли могли бы проходить сертификацию в другой по ускоренной процедуре. Субсидировать тогда пришлось бы на порядок меньше, а паспортов соответствия было бы на порядок больше.

- Нужно создать открытый реестр паспортов, чтобы те, кому нужны для чего-то материалы, могли бы выбрать из этого открытого списка, а не просто размещать снова и снова запросы в отраслевых институтах на паспортизацию. Это позволило бы иногда не тратить время и деньги на сертификацию новых материалов, а пользоваться уже тем, что есть, пусть иногда даже слегка меняя технические условия на требуемые материалы.

- Хорошим решением было бы создание независимого сертификационного центра специально для АТ, который бы полностью финансировался государством и сертификаты и паспорта которого принимались бы во всех отраслях (авиация, космос, энергетика, судостроение и пр.).

- Далее, переходя от материалов к изделиям, также нужна системная работа. Все знают, что после паспортизации материала для создания ответственных деталей требуется сертификация под конкретное изделие, особенно в случае его особой ответственности. Прежде всего правильно было бы не все детали считать особо ответственными и разделить их на группы. Выделить те детали, которые не требуют дополнительной сертификации, а могут изготавливаться при наличии паспорта.

- Сама сертификация «материал – устройство – деталь» в случае ответственных деталей должна обязательно субсидироваться. В итоге в течение одного, максимум двух лет мы могли бы получить большой список материалов и устройств, которые могли бы изготавливать сложные детали и целые узлы для многих отраслей промышленности.

Это сделало бы отрасль инвестиционно привлекательной для большого количества инвесторов.

КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ВЫПУСКА ДЕТАЛЕЙ, ВЫПУЩЕННЫХ АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ, СТАЛА БЫ ДРАЙВЕРОМ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПОЗВОЛИЛА БЫ ОТКРЫТЬ БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ, А ТАКЖЕ СОЗДАТЬ АДДИТИВНЫЕ ФАБРИКИ, СПЕЦИАЛИЗИРУЮЩИЕСЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕ АДДИТИВНЫМ СПОСОБОМ ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ОТРАСЛЕЙ.

Сильные российские производители, у которых покупают большое количество машин, могли бы самостоятельно развиваться и конкурировать с западными и китайскими производителями. Они могли бы выходить на международные рынки, имея производства в РФ, а не думать о переводе своих производств за границу. Можно было бы выиграть конкуренцию с Китаем и Арабскими Эмиратами и привлечь внутрь России производства из других стран. В итоге мы развили бы не только аддитивную отрасль и провели настоящее импортозамещение, но и развили бы российскую промышленность.

Для справки: действующие меры господдержки

В интервью изданию Business Excellence РИА «Стандарты и качество» (№ 10/2023) директор департамента станкостроения и тяжелого машиностроения Минпромторга РФ Валерий Пивень выделил следующие меры поддержки, которыми могут воспользоваться компании, работающие в сфере аддитивных технологий в России (приводится выдержка):

- Субсидия российским организациям на компенсацию до 70% затрат на проведение НИОКР по современным технологиям. (ПП № 1649 от 14 июля 2019 г.)

- Субсидия российским организациям на финансовое обеспечение до 90% затрат на мероприятия по проведению НИОКР в области средств производства электроники. (ПП № 2136 от 16 декабря 2020 г.) Направления отбора: оборудование, специальные материалы и системы автоматизированного проектирования.

- Субсидия на возмещение недополученных доходов при предоставлении скидки покупателям станкоинструментальной продукции. (ПП № 1206 от 10 августа 2020 г.)

- Запрет на закупку импортной продукции в рамках государственных закупок при наличии российского аналога, имеющего подтверждение производства на территории РФ. (ПП № 616 от 30 апреля 2020 г.)

В рамках поддержки предприятий по линии Фонда развития промышленности существуют:

- льготное кредитование от 1 до 3% годовых для реализации проектов, в т.ч. направленных на разработку но-

вой высокотехнологичной продукции, импортозамещение, лизинг производственного оборудования, производство комплектующих и повышение производительности труда;

- кластерная инвестиционная платформа: льготные кредиты российским промышленным предприятиям для реализации инвестиционных проектов по производству приоритетной продукции;

- специальные инвестиционные контракты, направленные на стимулирование инвестиций в промышленное производство России.

В целях развития отрасли аддитивных технологий в РФ на 2023–2030 годы утверждена Перспективная программа стандартизации. В ходе ее реализации решаются задачи по улучшению технических характеристик и характеристик безопасности аддитивного оборудования, повышается качество и конкурентоспособность изделий, полученных методами АТ, гармонизируются требования документов национальной системы стандартизации с наилучшими международными практиками, совершенствуются документы национальной системы стандартизации. Программа разработана по семи основным направлениям и содержит 57 стандартов, которые определяют общие принципы применения аддитивных технологий, оборудование, сырье, квалификацию персонала и получаемые изделия.

Полное интервью представлено:
<https://dzen.ru/a/ZclLbYJfjlZ4rShl>

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВПЕЧАТЛЯЮТ

В рамках выставки Weldex состоялась конференция «Лазерная сварка. Аддитивные технологии», которая привлекла большое внимание посетителей и еще раз подчеркнула огромные и разноплановые возможности данных технологий для обработки материалов.



Первым прозвучало выступление от компании «НТО «ИРЭ-Полюс» (корпорация IPG Photonics), что, по словам модератора Евгения Землякова, довольно символично, поскольку благодаря этой компании в России появились мощные лазеры, с применением которых технология лазерной сварки получила значительное развитие.

Николай Грезев, начальник отдела разработки лазерных технологий НТО «ИРЭ-Полюс», поделился примерами технологических задач, успешно решенных компанией с помощью разработанных и изготовленных станков на базе мощных волоконных лазеров.

В технологическом центре, расположенном в подмосковном г. Фрязино, в технологических стендах представлен полный спектр лазеров, выпускаемых компанией (рис. 1). Здесь можно найти технологические стенды гибридной сварки с лазером мощностью 30 кВт, серию ультракомпактных лазеров, используемых в роботизированных стендах наплавки и сварки, лазер с функцией AMB, который создает двойное лазерное пятно по центру и по окружности и который эффективно используется для обработки цветных сплавов. В лаборатории микрообработки представлены лазеры с ультракороткими импульсами (наносекундные, пикосекундные, фемтосекундные).

Компания также производит линейку оптических головок: серии FLW D30 — для лазеров мощности 6 кВт, серии FLW D50 — для лазеров мощностью до 30 кВт, FLW D85 (большой диаметр линзы) — для лазеров мощностью от 50 до 100 кВт.

Для достижения высокого качества лазерной обработки помимо волоконного лазера, оптической головки и системы перемещения требуется в зону ванны расплава подавать

защитный газ, присадочную проволоку и осуществлять наведение на стык. Все это реализуется дополнительными специальными насадками, которые в компании также изготавливаются в серийном промышленном формате.

Выпускаемая номенклатура лазеров позволяет как самой компании, так и ее интеграторам разрабатывать и производить разнообразные лазерные системы. Оборудование, предлагаемое НТО «ИРЭ-Полюс», зачастую используется в сложных проектах, на стыке новых технологий и решений. Это роботизированные системы, консольные системы, специализированные машины и др.

В зависимости от типа оптической головки и лазера можно выполнять разные виды лазерной обработки: резки, сварки, наплавки, термообработки, гравировки, маркировки и т.д. Например, интересным стал проект роботизированного станка со сменными оптическими головками: для сварки, удаленной обработки (сканер), наплавки и термообработки.

В докладе основное внимание было уделено технологии лазерной сварки, которая является примером передовой лазерной технологии, способной достигать технико-экономических показателей, превосходящих возможности классических технологий на порядок.

Технология лазерной сварки отличается от традиционных дуговых способов в первую очередь «кинжальной» формой сварного шва и высокими скоростями. Такая технология обеспечивает жесткие термические циклы, в результате которых можно получить сварной шов с малой зоной термического влияния, не имеющий разупрочняющих свойств. Сварка обычно выполняется без разделки кромок в среде защитного газа. Сваривать можно различные

материалы: низколегированные и высоколегированные стали, титановые, алюминиевые и цветные сплавы. Лазерная сварка обеспечивает высокое качество, контролируемость процесса и полностью автоматизируется.

Ярким примером является применение лазерной сварки боковин вагонов метро (две установки работают в России), реализованной взамен контактной сварки (рис. 2). Сварка осуществляется внахлест без повреждения лицевой стороны листа. По сравнению с традиционной контактной сваркой лазерная обеспечила рост производительности в 3–4 раза. Время сварки одной панели, в которой более 1000 сварных швов, составляет 25–40 минут. Такой эф-



Рис. 1. Линейка лазеров и оптических головок компании «НТО «ИРЭ-Полюс». Фото: «НТО «ИРЭ-Полюс»

фект достигается за счет применения сканирующей оптики с рабочим полем 200x200 мм, которая за одно позиционирование позволяет сваривать до 16 сварных швов в виде кольца.

В настоящий момент осуществляется работа над установкой для сварки железнодорожных балок. Разработка технологии гибридной лазерно-дуговой сварки заняла несколько месяцев, итогом которой стало успешное прохождение циклических испытаний сваренной балки на 10 млн циклов. Применение совместно лазерного и дугового источников (рис. 3) позволяет регулировать термические циклы и получать более качественные сварные соединения. Сварка осуществляется без разделки кромок на полную толщину свариваемого изделия со скоростью 1,5 м/мин.

Для внедрения технологии гибридной сварки с минимальными капитальными вложениями в компании был разработан сварочный трактор LWT-10000. Это инновационный продукт, который позволяет эффективно выполнять сварку тавровых и стыковых соединений. В оборудовании применена система, которая с высокой точностью отслеживает стык и автоматически наводит фокус на центр стыка.

FL-CPM — универсальная консольная система для обработки тел вращения и не только — недорогое решение, которое применяется для различных лазерных процессов: резки, сварки, наплавки или термообработки. Например, FL-CPM применяется для сварки скважинных пружинных центраторов, которые массово применяются при бурении скважин. Применение лазерной сварки позволило обеспечить высокую производительность: 4 центратора за 1 минуту. Сварка выполняется полностью автоматически. Люди привлекаются для загрузки и выгрузки центраторов в сборочную оснастку.

Tong-Weld — это мобильная установка лазерной сварки обсадных труб, разработанная для работы непосредственно на буровых платформах для различных климатических условий. Технология лазерной сварки позволила эффективно заменить муфтовые соединения на сварочные, не увеличивая время спуска колонны. Процесс лазерной сварки осуществляется за 35 секунд. Общее время всех операций на опускание одной трубы занимает 4–5 минут. После проведения различных проверок

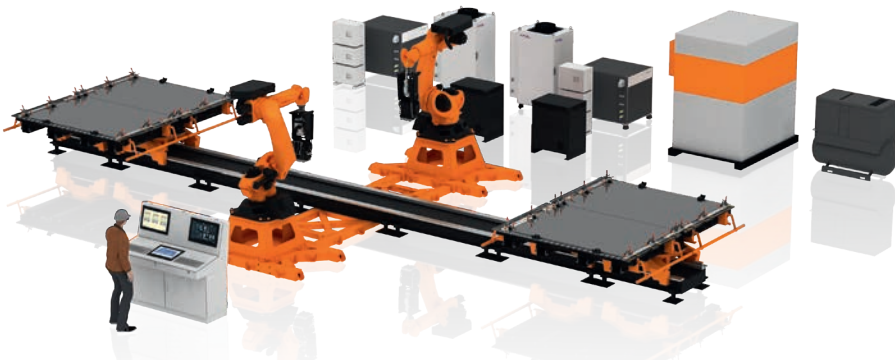
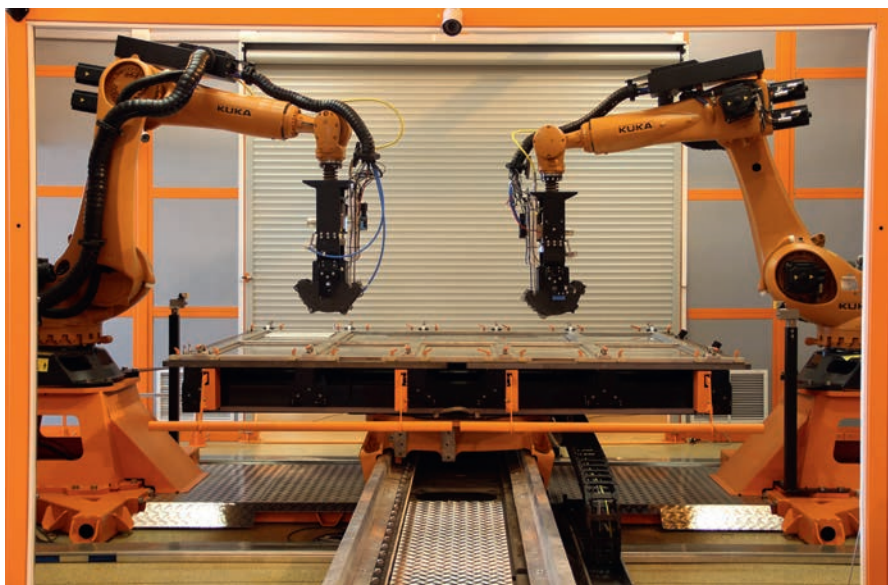


Рис. 2. Роботизированная установка лазерной сварки боковин вагонов метро. Фото: «НТО «ИРЭ-Полюс»

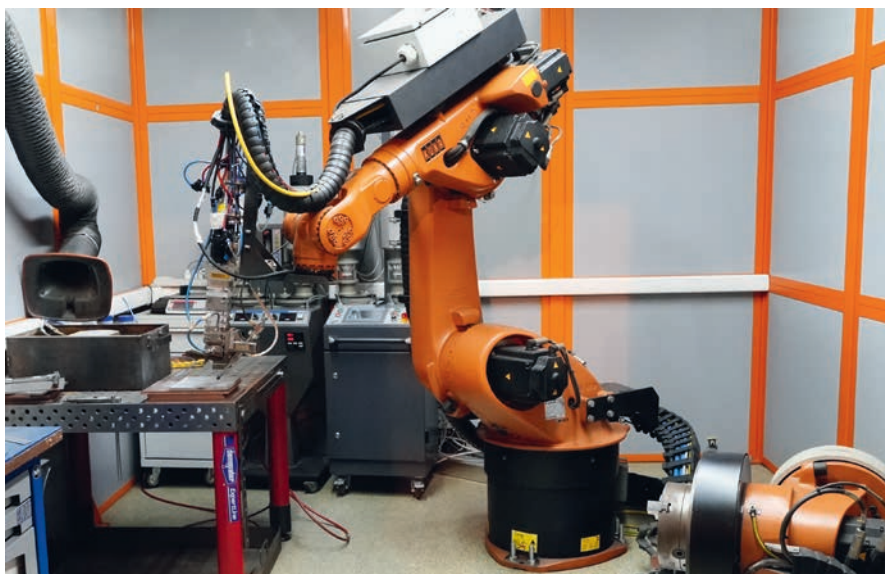


Рис. 3. Установка гибридной сварки. Фото: «НТО «ИРЭ-Полюс»

технологии и оборудование были аттестованы в системе НАКС. В России находятся в эксплуатации три таких установки, и с их помощью выполнено более 200 нефтяных скважин. Благодаря использованию лазерной сварки удалось снизить стоимость скважинных колонн в 2,5 раза.

Аппарат ручной лазерной сварки LIGHTWELD1500 уже хорошо зарекомендовал себя на рынке для эффективной сварки тонкостенных конструкций. К выпуску готовится обновленная модель LIGHTWELD XR (рис. 4) — модифицированный аппарат, который позволит работать с алюминиевыми и цветными



Рис. 4. Аппарат LIGHTWELD RX. Фото: «НТО «ИРЭ-Полюс»»

сплавами. Повышенная плотность мощности даст возможность более эффективно очищать поверхность металла от различных загрязнений и выполнять сварку больших толщин, а именно до 7 мм стали. В планах оснастить его соплом для лазерной резки и технологией ручной лазерной наплавки.

Аппарат ручной лазерной очистки LightCLEAN, в отличие от зарубежных аналогов, оснащен импульсным наносекундным волоконным лазером мощностью 1 кВт. Такой лазер позволяет в режиме абляции эффективно удалять с поверхностей различные загрязнения: ржавчину, окалину, краску, масло и т.д. — без повреждения основы.

Евгений Земляков, заместитель директора ИЛИСТ СПбГМТУ по научной и проектной деятельности, отметил высокие компетенции своей компании в области лазерной сварки и многолетний опыт решения промышленных задач на ее основе.

По сути, лазерная сварка является базовой и для других технологий, развиваемых ИЛИСТ СПбГМТУ. Родственными являются: лазерно-дуговая сварка, лазерная наплавка и термопрочнение поверхности, технология прямого лазерного выращивания, роботизированная лазерная 3D-резка.

Докладчик остановился подробно на технологии прямого лазерного выращивания. Данная технология позволяет путем лазерной наплавки металлического порошка формировать крупногабаритные сложнопрофильные высокоточные металлические заготовки. На данный момент технология позволяет работать со всеми свариваемыми металлическими материалами. Производительность процесса — до 2,5 кг/ч (средняя 1 кг/ч при плотности материала 8 г/см³). Размер изделия: максимальный диаметр 3000 мм, максимальная высота 2000 мм. Точность заготовок — 10–13 квалитет (± 1 мм на 2 м). Качество: объемная пористость не более 0,01 об. %, наилучшая шероховатость Ra 6,3 мкм. Компанией опробовано более 50 материалов (металлопорошковых композиций 20–200 мкм, сферических и несферических).

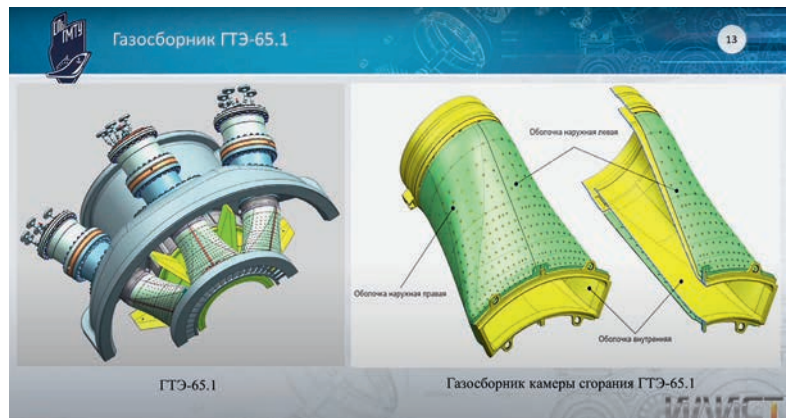


Рис. 5. Газосборник камеры сгорания ГТЭ-65.1. Фото: ИЛИСТ СПбГМТУ

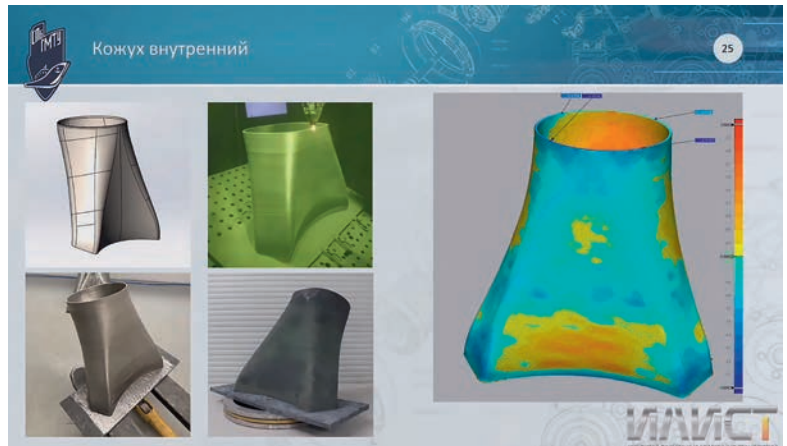


Рис. 6. Этапы создания внутреннего кожуха газосборника камеры сгорания ГТЭ-65.1. Фото: ИЛИСТ СПбГМТУ



Рис. 7. Примеры напечатанных изделий для судостроения. Фото: ИЛИСТ СПбГМТУ



Рис. 8. Оборудование для реализации лазерно-дуговой сварки. Фото: ИЛИСТ СПбГМТУ

Технология позволяет не только производить изделие из одного материала, но и комбинировать материалы в одном изделии, например, выполнить переход от стали к титану через промежуточные слои, создать биметаллические изделия из сплавов с разными теплофизическими характеристиками Cu-Fe, Cu-Ni, получать градиентные слои.

Важной задачей для данной технологии является история прогнозирования напряжений, термических деформаций при выращивании крупногабаритных изделий. Необходимо учесть технологических параметров, оптимизация стратегии, направленная коррекция исходной геометрии.

Докладчик подробно остановился на одном из примеров создания сложного промышленного изделия — газосборника камеры сгорания ГТЭ-65.1, в производстве которого использовались три лазерные технологии, причем две из них реализовывались на одной технологической машине (рис. 5, 6).

Газосборник представляет из себя два кожуха и шпангоут. Наружный кожух из нержавеющей стали, внутренний — из жаропрочного никелевого сплава. Причем этот никелевый сплав, ограниченно свариваемый, склонен к трещинообразованию. Наружную оболочку из нержавеющей стали нужно было не только вырастить, но и термообработать, вырезать с помощью лазера отверстия, разделить ее пополам, чтобы надеть на внутреннюю оболочку. А внутренняя оболочка приваривалась к выращенному кольцу.

Это та прекрасная демонстрация, когда технология лазерной обработки, аддитивная технология позволили сделать сложное изделие за полгода. За это время никакая другая технология не способна сделать новое изделие.

ИЛИСТ СПбГМТУ работает со всеми высокотехнологичными корпорациями России в области авиастроения, двигателестроения, ракетостроения, атомной и тепловой

энергетики, судостроения (рис. 7). Докладчик привел многочисленные примеры сложных изделий, которые испытываются, проходят аттестацию или уже применяются. Данные изделия изготавливаются на собственном оборудовании. На данный момент ИЛИСТ СПбГМТУ предлагает рынку три серийно выпускаемые машины «ИЛИСТ» в габаритах L, M, XL. Возможно производство специализированной машины под задачи заказчика.

Александр Ахметов, инженер технологического отдела ОПЛиЭФТ ИЛИСТ, дополнил выступление своего коллеги по части внедрения лазерно-дуговой сварки в судостроении (рис. 8). Традиционно в судостроении для сварки больших толщин используется многопроходная дуговая технология, которая чревата большими деформациями, требующими правки. Отсюда большие затраты времени и средств. Переход на лазерно-дуговую сварку позволяет значительно сократить количество проходов и деформаций. Используя лазерно-дуговую сварку, также можно предлагать новые подходы к конструированию. Например, переход от плоских секций с набором к сэндвич-панелям.

В настоящее время ИЛИСТ СПбГМТУ по техзаданию заказчика разрабатывает технологию сварки деталей разных толщин, начата ее сертификация, после чего на Онежской судостроительной верфи будет создан участок для ее реализации.

Важными этапами для внедрения лазерно-дуговой сварки являются: моделирование, прогнозирование структуры получаемых сварных швов, геометрии, термического цикла, исследования характера переноса присадочного материала в сварочную ванну. Все эти работы были проведены в компании. На текущий момент технология проходит аттестацию Морского регистра.

rosmould & 3D-TECH
rosmould.ru

Международная выставка пресс-форм и штампов, оборудования и технологий для производства изделий

18–20 июня 2024
МВЦ «Крокус Экспо», Москва

3D-TECH
Специализированная экспозиция аддитивных технологий и 3D-печати

QR code

Промокод для получения бесплатного билета
RM24-WJ7HC

ГМ ГЕФЕРА МЕДИА

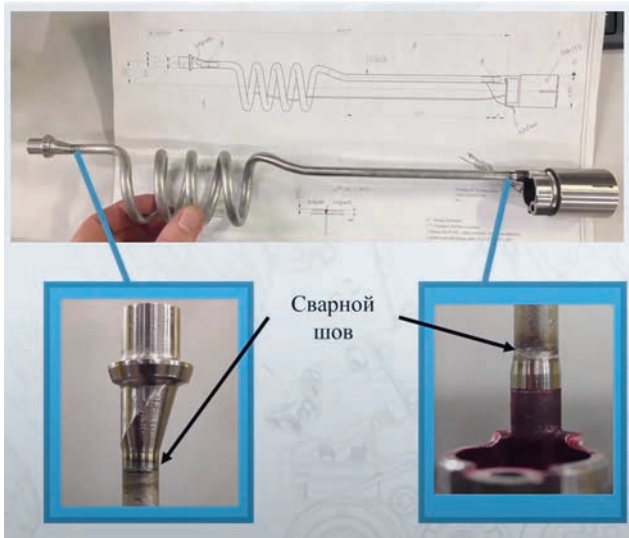


Рис. 9. Форсунка камеры сгорания газотурбинной установки ГТЭ-65.1. Фото: ИЛИСТ СПбГМУ

В целом технология лазерно-дуговой сварки довольно универсальная. На **рис. 9** показаны разного рода установки, на которых она реализуется. Это может быть трактор, установки портального типа, роботизированные комплексы.

Еще один доклад от компании ИЛИСТ был посвящен лазерной сварке деталей промышленных газотурбинных установок из разнородных материалов. **Дмитрий Савельев, инженер технологического отдела АТ ИЛИСТ**, рассмотрел пример изготовления форсунки камеры сгорания газотурбинной установки ГТЭ-65.1 (**рис. 9**), применение разнородных материалов в которой оправдано экономической целесообразностью.

Были продемонстрированы возможности лазерных технологий на примере роботизированной лазерной сварки цилиндрического разнородного соединения жаропрочного никелевого сплава ВЖ159 с нержавеющей сталью 12Х18Р10Т. По результатам проделанных работ было получено бездефектное разнородное сварное соединение, удовлетворяющее требованиям технического задания.

Михаил Олегин, генеральный директор ООО «Поккельс», рассказал о возможностях повышения производительности с помощью лазерной сварки на реальных кейсах.

Компания занимается внедрением лазерных технологий в российскую промышленность — от идеи до конечной реализации. В 2023 году компания Pokkels разработала автоматизированную систему лазерной сварки, которая применяется при сборке рулевого управления автомобиля (**рис. 10**). Лазерная сварка была выбрана как альтернатива склеиванию деталей при монтаже, поскольку она позволяет выполнять монтаж деталей быстро, надежно и обеспечивает высокую повторяемость.

Система, разработанная компанией Pokkels, позволила сократить разрыв между этапами производства с нескольких часов до нескольких минут — полный цикл сварки занимает 15 секунд, установка может работать в непрерывном режиме 24/7.



Рис. 10. Автоматизированная система Pokkels для сварки элементов электроусилителя руля. Фото: ООО «Поккельс»

Оборудование было запущено, протестировано, в т. ч. «АвтоВАЗом» и экспертными организациями, которые подтвердили, что полученные характеристики превышают ранее достижимые. Все гидроусилители руля, которые ставятся в LADA Granta, теперь выполняются с помощью лазерной сварки. Идут переговоры о замене текущего процесса стыковки на лазерную сварку и на других сериях «Автоваза».

Следующая довольно интересная задача — это сборка электрощафов с применением лазерной сварки, которая дала увеличение производительности в 2 раза. Впоследствии процесс лазерной сварки был роботизирован, за счет чего скорость производства шкафов выросла в 8 раз.

Сейчас компания работает над задачей внедрения лазерной сварки теплообменников на пищевом производстве. Автоматизированная лазерная сварка ускорит процесс до 22 раз, а также позволит создавать такую форму шва, которая обеспечит ламинарный поток жидкости в теплообменник и увеличит его эффективность.

По мнению докладчика, одна из причин, по которой предприятия с осторожностью внедряют лазерные технологии, — кадровая проблема. Не хватает специалистов, которые смогли бы выполнять данные работы качественно. Поэтому ООО «Поккельс» совместно с партнерами, Школой сварки РВТ, открыл учебный центр по подготовке специалистов в области ручной лазерной сварки.

О нем участникам конференции рассказал Михаил Павленко, генеральный директор Национальной школы сварки РВТ.

Рассмотренные задачи, примеры, внедрения демонстрируют высокий потенциал таких отечественных современных технологий, как лазерная сварка и аддитивные технологии, которые могут внести существенный вклад в решение задач импортозамещения, в повышение эффективности и конкурентоспособности производств, вывести продукцию предприятий заказчиков на качественно новый уровень.

Татьяна Карпова

Видеозапись конференции <https://weldex.ru/ru/>

ЛАЗЕРНЫЕ ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ КЛИЕНТА

Pokkels — российский производитель высокотехнологичного лазерного оборудования для промышленной обработки поверхностей: очистки, сварки, обработки проводов и гравировки. Мы разрабатываем и производим как серийные модели оборудования, которые могут подойти для широкого круга клиентов, так и решения, разработанные индивидуально для производства заказчика. Наша цель — развивать лазерные технологии и расширять сферу их применения в России.



Михаил Олегин,
генеральный директор
ООО «Поккельс»

У нас полный спектр серийного оборудования: все виды волоконных источников, различные мощности и форм-факторы. В 2024 году мы планируем расширять линейку серийных моделей. Так, в 2023 году мы разработали беспроводной кейс и мощный ранец лазерной очистки. Дополнительно мы готовы адаптировать их под конкретные задачи клиентов — укомплектовать базовые модели новыми опциями и закрыть

задачи тех клиентов, для которых необходимо расширить функционал и параметры серийных установок.

Уже сейчас мы разработали сварочную маску, которая подойдет и для работы с лазерными технологиями, а также можем укомплектовать каждую из поставленных моделей планшетом для удаленного управления параметрами или разработать ПО.

Лазерные технологии, включая сварочные, становятся все более востребованными в России. Однако существует проблема, с которой сталкиваются заказчики: на данный

момент лазерная сварка пока аттестована не всеми компаниями, для многих она все еще эксперимент. Мы стремимся не просто поставить оборудование клиентам, но и максимально эффективно его внедрить. Проводя аудит производственных процессов, обучая клиентов в учебном центре по ручной лазерной сварке, отработывая технологию и доказывая качество работы установок результатами лабораторных испытаний, мы комплексно подходим к решению задач клиентов, сопровождаем от постановки задачи до достижения цели, выводим лазерные технологии из разряда экспериментальных в аттестованные и регламентированные.

Также в 2024 году планируем активно развивать направление автоматизированных лазерных решений. Мы разрабатываем частично и полностью автоматизированные системы с учетом индивидуальных особенностей производства, которое позволяет в полной мере раскрыть потенциал лазерных технологий. Как поставщик решений мы сопровождаем каждого клиента от постановки задачи до достижения цели.

Помимо индивидуальной разработки в 2024 году мы планируем предложить готовые автоматизированные решения, которые можно встроить в производственные линии: для очистки профильных труб, пресс-форм, очистки труб изнутри и многое другое.

POKKELS

ЛАЗЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ БИЗНЕСА

ПРОИЗВОДИМ ЛАЗЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В РОССИИ

- › очистка
- › сварка
- › гравировка
- › обработка проводов
- › автоматизированные лазерные системы



8 (495) 477-55-67
info@pokkels.ru





ADDITIVE MINDED – 2024: «ШИРОКО. СИСТЕМНО. РЕНТАБЕЛЬНО»

Традиционно в конце января ООО «Экспо Фьюжн» были организованы выставочная экспозиция и конференция аддитивных технологий в промышленности Additive Minded, проходившие в рамках выставки Rупlastica. Теплая дружеская обстановка, которой неизменно отличается Additive Minded, актуальность поднимаемых тем, поиск оптимальных решений привлекают сюда и новичков, и опытных экспертов отрасли.

ШАГ К МЕЧТЕ — ДЕНЬ ПЕРВЫЙ

«Широко. Системно. Рентабельно» — назвал свой доклад Дмитрий Трубащевский, основатель проекта «Логика слоя», неизменный ведущий конференции и соорганизатор проекта Additive Minded, и продемонстрировал высокий уровень развития аддитивных технологий (АТ) в мире, рассказав о многочисленных проектах, в том числе тех, которые доступны любому инженеру практически для Rocket Science в гараже, а также тех, которые с разгромным счетом выигрывают у уже привычных технологий в скорости, точности и мультиматериальности производства. При этом докладчик выразил уверенность, что и российским разработчикам вполне по силам создавать новые продукты, способные перевернуть привычное отношение к ним промышленников, которых в АТ часто отпугивает малая серийность, высокая стоимость, необходимость постобработки, испытаний и сертификации. Вместе с Клубом производителей Сколково, RnD-платформой «Сколково» проектом «Логика слоя» была описана уникальная экосистема аддитивных технологий в России, резидентами которой уже являются более 250 отечественных компаний.

В свою очередь представители отечественных компаний выступлениями подтвердили уверенность модератора, представив новое оборудование, материалы, услуги, востребованные на российском рынке.

Михаил Родин, генеральный директор «НПО «ЗД-Интеграция» (i3D) — одного из ведущих отечественных игроков на рынке АТ, продемонстрировал экспертизу российского рынка и вместе со своей командой представил свое видение самых важных аддитивных технологий. «ЗД-Интеграция» активно разрабатывает оборудование по лазерному LB-PBF и электронно-лучевому EB-PBF-синтезу на подложке по металлам и сплавам, фотополимеризации в ванне по керамическим пастам DLP, струйной печати связующим по металлам, песку и полиметилметакрилату (PMMA), а также метрологические сканеры. Чтобы точнее оценить масштабы деятельности ООО «НПО «ЗД-Интеграция», стоит обратить внимание на создан-

ный в прошлом году Московский цифровой завод, входящий в группу компаний i3D, организацию производства песчано-полимерных принтеров FZHL в России, контрактное производство и обратное проектирование СПИН. Все это не может не вызывать оптимизма по поводу перспектив развития рынка инноваций в нашей стране.

Евгений Матвеев, генеральный директор ООО «Ф2 Инновации», подробно рассказал о возможностях технологии экструзии материала FGF с гранулированными термопластами. В отличие от FFF-технологии, гранулярная печать FGF отличается высокой производительностью, низкой стоимостью материалов, возможностью печати крупногабаритных деталей (**рис. 1**).

Дмитрий Антонов, заместитель генерального директора по развитию ООО «ОНСИНТ», в очередной раз порадовал достойными разработками компании, занятой технологиями синтеза на подложке по полимерным порошкам PBF/SLS и металлическим порошкам LB-PBF (**рис. 2**). Большой бэкграунд основателей компании помог им реализовать две популярные у предприятий-потребителей технологии, являющиеся своеобразным золотым стандартом качества.

Доступная стоимость, мощные лазеры, встроенный вакуумный сбор и система просеивания и рециркуляции металлического порошка — движение в сторону автоматизации производства, необходимой для установки многих десятков и даже сотен подобных 3D-принтеров на цифровых фабриках будущего.

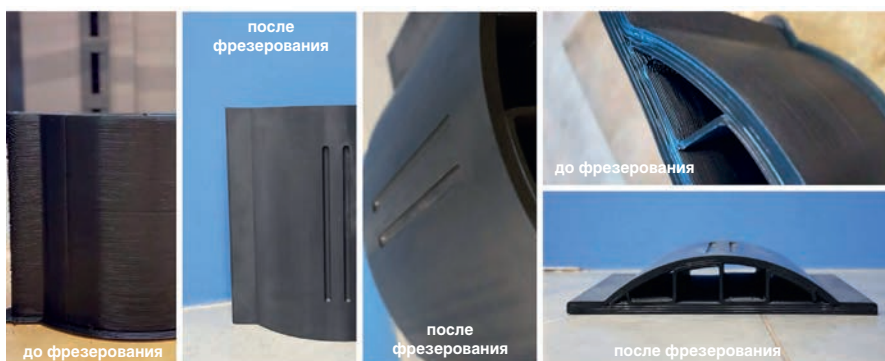


Рис. 1. Пуансон для холодной выкладки композита вакуумной инфузией: вес — 30 кг, материал — Ether (PETG-GF), время печати — 5 часов, габариты: 900x500x250 мм, напечатано на F2 Gigantry ООО «Ф2 Инновации». Фото: ООО «Ф2 Инновации»

Дмитрий Королев, технический директор ООО «Объектроникс», в своем докладе с интригующей темой «Ожидание и реальность. Как достигаются заявленные параметры и за что стоит переплатить?» раскрыл недостатки российских и азиатских потребительских FFF-3D-принтеров, в результате использования которых страдает надежность, точность, а также ставится под сомнение качественная работа с высокотемпературными термопластами. Для достижения высокой эффективности его командой был разработан принтер Objectronics F300, который уже несколько лет дорабатывается для соответствия санкционно закрытой линейке Fortus компании Stratasys.

Роман Савченков, директор ООО «Анизопринт Рус», в очередной раз убедил присутствующих в том, что сегодня без композитной печати не обходится ни одно инновационное производство. Замена металла на рубленый или непрерывный композит находит себя в авиационной, космонавтике, а также в производстве товаров спортивного и специального назначения. Более того, 3D-печать, несмотря на невысокую производительность, может обеспечить получение продукции любой сложности, а если потребуется серийное производство, то есть ответ: «Обзаводитесь 3D-фермами».

Андрей Берюхов, директор бизнес-направления «Аддитивное производство» ООО «Горизонт покрытий», уделил особое внимание постобработке после металлической печати синтеза на подложке. С одной стороны, все знают, что современные 3D-принтеры по металлу — отличный инструмент для быстрого получения высокосложных заготовок с отличным металлургическим качеством, с другой стороны, с наскоку проблему постобработки не всегда получается решить оперативно и самостоятельно. Поэтому экспертность Андрея должна помочь многим слоуделам в борьбе за потребителя, ждущего от АТ чего-то большего.

Евгений Копылов, руководитель центра производства Московского цифрового завода, часто визуализирует, как должно работать цифровое производство, — демонстрирует вихрь, в который вовлекается окружение. Так и есть, потому как СПИН («Специальные производства и новации»), являясь площадкой контрактного производства, успешно осуществляет проекты, в которых цифра, гибкость, обратное проектирование и 3D-печать ставятся во главу угла.

Гарегин Асланян, ведущий специалист АО «Центр аддитивных технологий» (ЦАТ), окунул всех в определение реинжиниринга и системного инжиниринга с целью обозначить проблему — отсутствие границ у обратного проектирования. Но они существуют благодаря качественному обучению, НИР, ОКР. И во всем этом ЦАТ позиционирует себя первым в РФ.

Станислав Максименко, специалист отдела продаж ООО «ЗДВижен», рассказал, почему программное обеспечение VoxelDance Additive — отличная альтернатива ушедшему с российского рынка комбайну-слай-серу Materialise Magics. Стремление Китая подражать Западу нашло воплощение в VoxelDance, причем так удачно, что приемлемая стоимость и достаточный функционал жестко пресекает попытки других продуктов как-то соперничать с ним.

Александр Перес, директор по развитию ООО «Атеко», без лишней скромности заявил, что на рынке РФ нет более качественных полимерных и широко используемых инновационных FFF/FGF- и ТПА-материалов, чем Ateco (рис. 3). Анонсируемые в рамках прошедшей выставки и конференции FFF/FGF-3D-принтеры компании изрядно пощекотали нервы конкурентов, а экосистема «материал – 3D-принтер», а также авторитетная и опытная команда, плотно сотрудничающая с CMS (Италия), Arkema (Франция), Институтом Фраунгофера (Германия), Институтом пластмасс (Россия), заставили

Печать изделий сложной геометрии

- Отсутствие слоистости
- Нет поддержек
- Высокопрочные материалы



Рис. 2. 3D-печать изделий на оборудовании ООО «ОНСИИТ». Фото: ООО «ОНСИИТ»



Рис. 3. Элементы станка, выполненные из материала и на оборудовании ООО «Атеко». Фото: ООО «Атеко»

всех поверить в появление нового заметного игрока в сфере продуктов для аддитивного производства.

Дарья Дмитриева, генеральный директор академии аддитивных технологий «Цифра Цифра», обосновала слушателям необходимость повышения квалификации кадров, которая позволит не увязнуть в рутине и свободно ориентироваться в современных и перспективных технологиях, адекватно подбирать оборудование для решения специфических производственных задач. С другой стороны, есть серьезные основания полагать, что мы станем свидетелями активного ежегодного роста АТ с инвестициями до 13 и более млрд рублей к 2030 году. И вместе с этим должнакратно увеличиться численность работников, занятых в отрасли, которая сегодня по разным оценкам составляет 2000–4500 человек.

СИЛЬНЫЕ ИДЕИ — ДЕНЬ ВТОРОЙ

Андрей Щавлев, руководитель направления аддитивных технологий ООО «Офисная техника Джетком», рассказал об использовании 3D-принтеров SoonSer и их применении в литейном производстве. АТ перед требовательными промышленниками открывают целый мир возможностей, одна из которых заключается в печати выплавляемой или выжигаемой оснастки. Первая из них изготавливается из технического воска, а вторая — из специальных полимеров, имеющих низкую зольность. Но и это не все. Некоторые полимеры имеют особенность расширяться при высокой температуре в печи, а это может повлиять на разрушение керамической формы. Поэтому инженеры, зная эту особенность, в автоматическом режиме заполняют тело деталей пространственными ячейками. В результате при выжигании продукты сгорания заполняют пустые полости с ячейками, и поломки форм в этом случае не происходит.

Денис Подсобляев, руководитель направления АТ ООО «ИНФАБ», рассказал об успехах компании BLT, которая сегодня занимает, пожалуй, первое место в Китае по объему продаж и, соответственно, качеству LB-PBF-принтеров. С его слов, в Китае уже произошла революция в 3D-печати, а количество 3D-принтеров по металлам в ЦАП часто составляет 100–400 единиц (рис. 4). К сожалению, в России мы пока не увидим в одном месте даже десятка принтеров по такой технологии. Обучить персонал, оснастить цеха таким количеством оборудования вполне реально, но соответствующего спроса в нашей стране нет и поставки носят единичный характер.

Дмитрий Трушников, директор ООО «ИКСВЕЛД», медленно, но верно внедряет в массы информацию об использовании проволоочной наплавки для обеспечения технологического суверенитета нашей страны. Знание лучших зарубежных практик, собственный плазмотрон, отечественная сварочная проволока, гибридная компоновка — все это и еще многое другое является составной



Рис. 4. ЦАП на основе LB-PBF-принтеров компании BLT. Фото: «Логика слоя»

частью производимых его компанией комплексов и предоставляемых возможностей.

Алексей Колесников, генеральный директор ООО «Цветной мир», раскрыл секреты перед предпринимателями, готовыми вступить на тернистый путь 3D-печати с помощью серийного производства на фермах — «группах 3D-принтеров, которые работают одновременно и настолько непрерывно, насколько это возможно, для увеличения производительности изготавливаемых изделий». Он посоветовал не торопиться и основательно проработать вопрос с материалами, размерами производимых деталей, финансовыми возможностями, помещением, управляющим программным обеспечением, а также профилем индустрий заказчиков. Если все сделать системно и начать с нескольких принтеров, то в достаточно короткие сроки можно полностью окупить оборудование, заработать, а на вырученные деньги приобрести новые принтеры для масштабирования производства.

Михаил Кулик, коммерческий директор ООО «ЗД Вижн», был непреклонен в том, что сегодня практически любому предприятию нужно иметь 3D-сканер, поскольку рано или поздно возникнут задачи, требующие обратного проектирования. Технологии структурированного подсвета и лазерного сканирования сейчас наиболее популярны у российских пользователей. Были приведены примеры реверс-инжиниринга для стоматологических и медицинских применений, контроля геометрии, оцифровки музейных экспонатов, в кинематографе, дизайне интерьеров.

Алексей Мазалов, генеральный директор АО «Центр технологической компетенции аддитивных технологий» (ЦТКАТ), каждый год радуется гостей Additive Minded достижениями своей команды. В очередной раз он поделился многочисленными проектами компании в области настоящего реверс-инжиниринга и аддитивного производства. Пока в компании в основном эксплуатируются зарубежные образцы основного оборудования, являющиеся «рабочими лошадками», но в планах ЦТКАТ расширение производства и приобретение отечественных 3D-принтеров. Особую гордость сегодня для Алексея представляет документооборот компании в единой цифровой платформе, что обеспечивает непревзойденное качество внутрикомандной коммуникации и как след-

Рис. 5. Команда термопластов (слева направо): генеральный директор и основатель ООО «РЭК» Михаил Шишкин, директор по развитию ООО «Атеко» Александр Перес, генеральный директор ООО «ЗД Вижн» Илья Виноградов, специальный гость, генеральный директор ООО «Ф2 Инновации» Евгений Матвеев



стве — повышение качества производимых услуг и лояльности заказчиков.

Владимир Ларькин, генеральный конструктор ООО «МОРТЕХ», рассказал о перспективах использования аддитивных технологий в маломерном судостроении. Традиционно выкладочная матрица для лодки может производиться в течение года, а ее стоимость составляет 2–3 млн руб. С помощью же технологии шнековой экструзии FGF можно сократить стоимость в десятки раз. В самом начале проекта Владимир использовал оборудование компании Siemens, потом появилось стремление создать собственный 3D-принтер на роботизированном комплексе CEAD AM Flexbot от компании CEAD B.V., решая одновременно задачи 3D-печати и ЧПУ-фрезерования за один автоматизированный процесс. Сегодня же с учетом конъюнктуры рынка и внешнеполитических событий команда ООО «МОРТЕХ» переключилась на отечественных разработчиков и производителей систем и материалов.

Михаил Буренков, старший проектный менеджер управления по развитию платформы НИОКР-сервисов в департаменте регионального развития Фонда «Сколково», рассказал об инструменте для поиска заказчика и исполнителя технологических услуг, НИОКР, реинжиниринга, прототипирования, испытаний, метрологии и биомедицины. Sk RnD Market позволяет поддерживать инновации, автоматизировать и упростить процесс общения исполнителя и заказчика, а также предоставить дополнительные сервисы сопровождения НИОКР: скаутинг технологий, юридические услуги и меры поддержки. На платформе уже зарегистрировано более 3400 компаний, в их числе свыше 250 вузов и НИИ, более 500 заказчиков крупного и среднего бизнеса РФ.

Павел Курдюмов, руководитель промышленного направления и службы технической поддержки ООО «ХАРЦ Лабс», провел ликбез для всех гостей конференции по особенностям работы с современным фотополимерным принтером. С помощью своих навыков докладчика, инфографики, реальных фото по обслуживанию LCD-3D-принтера и устройств для дополнительной фотополимеризации он доходчиво объяснил особенности процесса печати из УФ-отверждаемых смол.

Рис. 6. Команда реактопластов (слева направо): руководитель лаборатории ООО «ХАРЦ Лабс» Павел Чапала, генеральный директор и основатель ООО «М-Шейп» Гузель Кирсанкина, генеральный директор и основатель ООО «ХАРЦ Лабс» Андрей Адамов, независимый эксперт по технологиям 3D-печати с использованием УФ-отверждаемых материалов Евгений Ермаков



Гвоздем деловой программы второго дня стало проведение **Дискуссионного клуба «Химия полимеров: термопласты vs реактопласты»**, организованного в сотрудничестве с академией аддитивных технологий «Цифра Цифра». В дебатах принимали участие основатели, технологи и инженеры известных компаний (рис. 5, 6).

С первых минут дебатов соперники сразу откликнулись на призыв ведущего побыстрее начать в желании узнать, кто кого порвет на нити, гранулы и смолы. Обе команды сражались «до последней капли материала», сыпали уникальными кейсами, но другая сторона всегда находила изъяны и специфичность применения кейсов соперника. В результате были рассмотрены применения в области машиностроения, строительства зданий, стоматологии, авиации, космонавтики, изготовления электронных плат, арт-объектов. Уже практически с самого начала было понятно, что с обеих сторон находились очень сильные соперники, досконально знающие свой предмет!

В итоге, как водится, победила дружба и выиграли все: и кто делился опытом, и кто, слушая доводы сторон, расширил собственные представления о возможностях своей отрасли.

ДЕЛАТЬ, НЕ БОЯТЬСЯ — ДЕНЬ ТРЕТИЙ

Сергей Благинин, заместитель руководителя проекта ООО «ЗД Лайф», сразу зашел с козырей: максимальная скорость печати изделий из стандартных инженерных полимеров и композитов методом FDM/FFF на оборудовании его компании может составлять 600 мм/сек! По мнению авторитетных зарубежных экспертов, 2024 год будет годом качественных перемен в АТ. Одной из них для настольной печати будет полное замещение медленных принтеров быстрыми. Команда Сергея явно следит за трендами и идет с ними в ногу. Второе, на что обратил внимание докладчик, — 3D-фермы и системы управления производственными процессами MES 3D LIFE (Manufacturing Execution System). Быстрое рентабельное производство изделий малых серий без оснастки, а также полный мониторинг и аналитика производства — веха в развитии доступной 3D-печати, к чему имеет непосредственное отношение ООО «ЗД Лайф».

Антон Линник, начальник отдела аддитивных технологий ООО «КТС» (S7 Space), рассказал об успе-

хах компании в развитии технологии WAAM/DED-W. Сегодня в ООО «КТС» создан программно-аппаратный комплекс, на котором команде удалось успешно апробировать производство заготовок из алюминиевых сплавов (рис. 7), сталей, жаростойких и жаропрочных сплавов. Не лишним будет отметить, что перспектив у WAAM-технологии намного больше, чем может показаться, ведь она позволяет агрегировать детали в одно сложное изделие, использовать меньше дорогостоящего инструмента, не ждать металлургического производства и логистики до места производства, давать большую свободу в проектировании, контролировать качество в режиме реального времени, использовать машинное обучение для аналитики.

Дамир Соловьев, специалист по внедрению промышленных аддитивных решений Top 3D Group, рассказал об актуальных промышленных технологиях и оборудовании. Дамир привел популярные и успешно зарекомендовавшие себя технологии:

- синтез на подложке PBF/SLS и печати полиамидом, в том числе армированным стеклом, углеродные волокном и алюминием;
- синтез на подложке LB-PBF/SLM и печати алюминиевыми, титановыми, никелевыми сплавами;

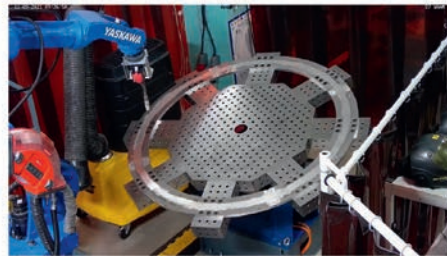
- струйной печати связующим VJ и печати формообразующей песчаной оснастки для литейных производств (рис. 8).

В компании четко понимают потребности бизнеса и российских предприятий, для которых важно обеспечить высокое качество и повторяемость изделий на отработанных решениях мирового уровня.

Артем Соломников, сооснователь, генеральный директор ООО «Компания ИМПРИНТА», произвел фурор на сцене конференции, представив свое видение того, как следует развивать аддитивные технологии на новых рынках. Им были приведены примеры успешного использования принтера «Муромец P200» в составе мобильных мастерских в ВС РФ. Артем обратил внимание, что мало просто определиться с технологией, важно подобрать близкий аналог конечного материала, произвести тестирование напечатанных изделий и преодолеть туманный путь с индивидуальным сценарием развития проекта.

Алексей Дидковский, генеральный директор ООО «Гуру Перфоменс», представил доклад с интригующим названием «Оборудование, которого нет». Интеллектуальная сушильная камера для полимерного филамента и технологии экструзии материала FDM/FFF стала глав-

S7 Space Изготовление крупногабаритных днищ (алюминий) a.linnik@s7.ru



Выращивание торосферического днища бака на площадке ООО «КТС». Диаметр 1,5 м, материал АМг6, масса без заправки 90 кг, время печати 80 ч.



Торосферическое днище бака :	
Материал	5556А (АМг6)
Габариты ДхВ	1500х1200 мм
Масса наплавки	90 кг
Время выращивания	80 ч
Затравка	алюминиевая плита (кольцо)

Рис. 7. Изделие, выполненное с помощью WAAM-технологии. Фото: ООО «КТС»



Рис. 8. Печать песчаных форм для изготовления элементов корпуса и рабочих колес. Фото: Top 3D Group

ным продуктом разработки его команды. Алексей привез на выставку прототип сушилки, в которую он вложил всю свою душу: тактильный экран для выбора параметров, высокоточные весы для взвешивания материала до начала сушки и после, датчик влажности, профили для материалов и принтеров, регулярные обновления прошивки по воздуху. В ООО «Гуру Перфоменс» изучили современные сушилки из Китая и пришли к выводу, что они не обладают качествами интеллектуальных устройств, что и собираются исправить наши разработчики. Открыт предзаказ на первую версию устройства, на которое уже получено более 30 заявок.

Дмитрий Трубашевский, модератор конференции и основатель проекта «Логика слоя», воспользовался своим положением и с успехом провел викторину по аддитивным технологиям «Угадай, если сможешь». Невероятный драйв и восторг, которые получили как гости мероприятия, так и два участника (рис. 9), сложно передать словами. Были рассмотрены нетривиальные кейсы по различным технологиям, и вместе с ведущим в режиме ликбеза были найдены искомые ответы. Проведение такого рода викторины является уникальным и крайне полезным явлением, поскольку интерактивная составляющая позволяет закрепить полученные на конференции знания, творчески мыслить, а не только внимательно слушать.



Рис. 9. Участники викторины «Угадай, если сможешь» Евгений Проуторов и Алексей Дидковский

Владислав Артюшков, руководитель проектов по внедрению АТ ООО «ИННФОКУС», привез с собой инструкцию по импортозамещению и рассказал, как перейти от реверс-инжиниринга к полноценному аддитивному производству. Ряд продуктов компании сегодня включает в себя технологического ассистента, который позволяет осуществить интеллектуальный выбор технологии изготовления загружаемых в облако деталей, а также ПО для предеформации с целью сокращения брака производства ответственных и дорогостоящих деталей (часто металлических).

Андрей Шилейко, технический директор SHILÉYKO, рассказал о текущем состоянии стандартизации в области FDM/FFF-3D-печати. Андрей проанализировал 39 брендов и производителей полимерных филаментов, выделил 39 химических оснований, 80 композитов на их основе. Из 48 стандартов в области АТ он нашел только 13 для технологии FDM/FFF. Андрей поднял проблему, встающую при отсутствии стандартизации: выпуск материалов без общих требований к качеству, комплেকтация материалов на усмотрения производителя, отсутствие технического паспорта на материал, испытание материалов по собственным методикам, субъективная оценка качества полученных изделий. Докладчик также рассказал, что представляет собой технический паспорт на материал, испытания материалов, а также дефекты 3D-печати и почему они так важны.

Александр Перес, совладелец ООО «Киберон Студио», выступая второй раз, очень убедительно рассказал о маркетплейсе Cyberon.Studio для 3D-моделей и в целом для продаж цифровых продуктов и физических товаров. Не секрет, что в России предпринималось несколько попыток создать подобный маркетплейс, аналогичный лучшим мировым ресурсам: Thingiverse, Shapeways, Cults 3D, Makerworld и другим. Однако ни у кого так и не получилось этого сделать. Александр с командой очень основательно изучил ошибки прежних предпринимателей, провел работу над их неудачами. Он полон сил и творческих планов реализовать свой проект, тем более что уже около 10 компаний из аддитивной сферы стали подписчиками его сервиса. Cyberon.Studio одновременно присутствует в web и Telegram, автома-

тизирует платежи и отгрузки, сотрудничая с Robokassa, Tinkoff, СДЭК, OZON и другими компаниями.

Антон Лихтнер, руководитель керамической лаборатории Московского цифрового завода (ООО «НПО «3Д-Интеграция») погрузил гостей конференции в особенности печати керамических изделий новыми материалами (рис. 10). DLP-3D-принтеры могут использоваться для исследований и производства, что сказывается на их конфигурации, а мультиматериальная печать расширяет возможности производства, делая его уникальным. Также Антон рассмотрел новые для российского рынка технологии прямой печати DIW-паст на печатные платы, керамических суспензий, а также биоматериалов. Радует, что ООО «НПО «3Д-Интеграция» не останавливается только на популярных решениях, а исследует новые технологии, по сути, формируя рынок для покорения прорывными технологическими решениями.

Выводы

Седьмая ежегодная конференция Additive Minded хоть и потеряла на данный момент статус международной, несколько не проиграла от этого. Большое количество опытных российских компаний, лучших экспертов, живой интерес гостей, новые форматы, ценные и полезные подарки, фото- и видеосъемка, радушный прием, насыщенные вопросы и интересные ответы — все это сложилось в очень благоприятное впечатление от проекта, прочно занявшего свое место как концентратора умных и энергичных предпринимателей, открытых к новому специалистам заводов, учащихся профильных вузов.

Хочется надеяться, что успех проекта в будущем 2025 году будет подкреплен более масштабным продолжением с подключением иностранных спикеров от лучших мировых компаний, дружественных и лояльных нашей стране!

Статья подготовлена редакцией портала INDUSTRY3D, приводится в сокращении:

<https://industry3d.ru/at-news/Additive-Minded-2024-chast-1/>
<https://industry3d.ru/at-news/Additive-Minded-2024-chast-2/>
<https://industry3d.ru/at-news/Additive-Minded-2024-chast-3/>

Фотографии участников конференции: ООО «Экспо Фьюжн»

Презентации докладчиков представлены на сайте: <https://additiveminded.ru>



Рис. 10. Печать новыми керамическими материалами. Фото: i3D

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ИЗ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Е.В. Краснова, Б.П. Саушкин,
И.А. Слюсарь, С.В. Смяян
Московский политехнический университет

ВВЕДЕНИЕ

Основными недостатками технологий построения изделий методом селективного послойного плавления порошковых материалов лазерным лучом (СЛП) или пучком электронов (СЭЛП) является высокая шероховатость поверхности построенных изделий и относительно невысокая точность построения [1–4].

Так, в работах [2, 3] отмечается, что процесс аддитивного производства металлических изделий (АП) не отвечает высоким отраслевым требованиям в отношении шероховатости поверхности ($Ra < 1$ мкм и $Rz < 20$ мкм). В [4] отмечается, что из-за высокой шероховатости и других факторов погрешность размера изделия, построенного из сплава Ti-6Al-4V методом СЭЛП, в сечении, перпендикулярном направлению построения, может достигать 1 мм.

Кроме того, многие авторы отмечают наличие дефектов материала в изделиях аддитивного производства (АП), прежде всего пор, и формирование при их построении остаточных напряжений растяжения в поверхностных слоях [5, 6].

Эти факторы, прежде всего высокая шероховатость поверхности, приводят к заметному снижению ресурса изделий при циклическом изменении напряжений и большом числе циклов нагружения [7, 8].

В табл. 1, полученной на основании анализа опубликованных работ, представлены диапазоны изменения значений шероховатости, пористости материала и остаточных напряжений в нем для различных технологий аддитивного производства изделий из металлов и сплавов. Видно, что при использовании электронного пучка в качестве источника энергии, выделяемой в порошковой среде, высотный показатель шероховатости, Ra заметно

Таблица 1. Диапазоны значений пористости, шероховатости поверхности и остаточных напряжений при построении изделий методами прямого подвода энергии (DED), селективного лазерного (SLM) и электронно-лучевого (EBM) плавления [9]

Технология	Пористость, об. %	Шероховатость, Ra , мкм	Остаточные напряжения, МПа
DED (laser)	0,01–0,27	0,24–13,3	–
SLM	0,1–0,5	5–40	100–500
EBM	0,1–0,3	25–130	Очень низкие

выше, чем при использовании излучения лазера, соответственно 5–40 и 25–131 мкм. Параметр Rz при некоторых режимах СЭЛП достигает значений 300 мкм и более [10]. Установлено также, что снижение шероховатости поверхности заготовки АП за счет уменьшения среднего размера исходного порошка в условиях СЭЛП практически невозможно, в отличие от СЛП.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ЗАГОТОВОК АП

Для снижения пористости и остаточных напряжений используют постобработку, такую как отжиг или горячее изостатическое прессование (ГИП) [11]. Для повышения точности изготовления, уменьшения шероховатости и снижения тем самым влияния концентраторов напряжений на усталостную прочность изделий производят дополнительную обработку (additional processing) изделий АП до требований технической документации [2, 5, 12, 13]. Анализ этой проблемы [1] показывает, что ее невозможно решить только за счет оптимизации параметров процесса АМ из-за его внутренней сложности. Следовательно, отмечают авторы, необходимы эффективные методы последующей обработки как наружных, так и труднодоступных внутренних поверхностей для повышения их качества.

Следует отметить, что, строго говоря, такая обработка не входит в состав постобработки, регламентированной ГОСТом [14], и, следовательно, ее применение автоматически переводит аддитивный процесс формообразования в аддитивно-субтрактивный, частично нивелируя некоторые достоинства АП. Это приводит также к снижению технико-экономических показателей технологий изготовления изделий АП [15, 16].

Аддитивно-субтрактивный процесс доведения свойств заготовки АП до требований чертежа на готовое высокоточное изделие в общем случае включает в себя совокупность операций, основанных на различных мето-



Рис. 1. Основные методы и технологии дополнительной обработки заготовок АП

Таблица 2. Сравнительная характеристика технологий дополнительной обработки изделий АП

Показатели уровня качества технологии	Механическая обработка	Химическое полирование	Электро-химическое полирование	Электролитно-плазменная обработка
Производительность	Средняя	Низкая	Средняя	Высокая
Конфигурация изделий	Простая	Сложная	Сложная	Сложная
Возможные изменения материала	Внедрение абразивных частиц	Пятна травления, неравномерность травления	Образование питтингов	Упрочнение поверхностного слоя
Затраты на инструменты и технологические среды	Средние	Высокие	Средние	Низкие
Производственная площадь	Малая	Средняя	Средняя	Средняя
Риски для окружающей среды	Низкие	Средние	Средние	Низкие
Уровень безопасности жизнедеятельности	Средний	Низкий	Низкий	Средний
Удельная энергоёмкость	Низкая	Низкая	Средняя	Высокая
Квалификация рабочего	Высокая	Средняя	Средняя	Средняя

дах и способах обработки. Правильный подбор и последовательность выполнения таких операций определяет себестоимость изготовления изделия и в конечном счете целесообразность применения заготовки АП.

Учитывая тот факт, что доработка заготовок АП может осуществляться с применением множества различных альтернативных технологий, задача нахождения наилучшей из них по выбранному критерию является актуальной, что подтверждается значительным числом исследований в этой области [12–13].

На рис. 1 представлены основные методы и технологии обработки, которые принципиально способны решить эту задачу. В табл. 2 приведен сравнительный анализ показателей уровня качества некоторых из этих технологий, а в табл. 3 представлены результаты анализа их влияния на свойства изделий.

Несмотря на усредненный характер оценки, можно заметить, что каждая из приведенных технологий имеет свои преимущества и недостатки, поэтому для каждого изделия или группы изделий необходимо решать задачу выбора наилучшей технологии из множества вариантов-альтернатив [18]. С этой целью определяют векторные показатели уровня качества сравниваемых технологий, E_i , которые представляются в виде кортежей вида

$$E_i = \langle e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{ik} \rangle, i = 1, 2, \dots, m \quad (1),$$

где e_{ij} — единичные показатели уровня качества, $j = 1, 2, \dots, k$, k — число значимых единичных показателей, m — мощность множества рассматриваемых альтернативных технологий.

Выбор наилучшего варианта осуществляют средствами многокритериальной оптимизации. В технологии машиностроения в большинстве случаев используют метод главного критерия, алгоритм применения которого хорошо апробирован. Однако при практическом нахождении наилучшего варианта технологического решения встречаются некоторые трудности, связанные с необходимостью использования достоверных данных о достигаемых технологических показателях при применении каждой из

сравниваемых технологий. База данных возможностей технологий, представленных на рис. 1, только создается, поэтому ее расширение является актуальной задачей.

Анализ представленных данных показывает, что применение электрохимических технологий позволяет эффективно снижать шероховатость поверхности изделий АП и повышать их сопротивление усталости. Поэтому в ряде работ такие технологии рассматривают как конкурентоспособные [19]. Для формирования конечных свойств изделий АП могут применяться следующие субтрактивные технологии электрохимической обработки: электрохимическое полирование (ЭХП) [19], в том числе сухое полирование (СЭХП) [20] и электрохимическая размерная обработка (ЭХО), которые отличаются друг от друга условиями проведения электролиза и параметрами режима.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА

В отличие от электрохимического полирования, возможность применения технологии высокоскоростного анодного растворения в водных растворах минеральных солей при плотностях тока 10...200 А/см² для окончательной доводки изделий АП мало изучена. Так, в обзоре электрохимических процессов финишной обработки [21] диапазон плотностей тока выше 1 А/см² вообще не рассмотрен. Это связано с необходимостью применения в большинстве операций ЭХРО, выполняемых методом прямого копирования, специальной оснастки и инструмента, что повышает производственные затраты, особенно в условиях единичного и мелкосерийного производства [22]. Вместе с тем проблема отделки поверхности в технологиях ЭХРО успешно решалась [23, 24], а достигнутые результаты позволяют обсудить их применение для дополнительной обработки изделий (заготовок) АП.

В [25] предложен процесс электрохимической обработки (ЭХО), в котором используется солевой раствор для обработки внутренней поверхности, полученной с использованием АП. Его применение позволило снизить шероховатость поверхности (S_a) отверстия с прямолиней-

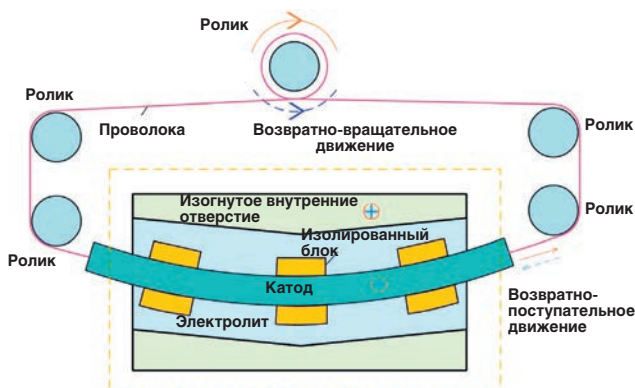
Таблица 3. Влияние дополнительной обработки на свойства изделий АП из металлов и сплавов [17]

Метод дополнительной обработки	Свойства изделий АП				
	Шероховатость поверхности	Пористость	Микроструктура	Остаточные напряжения	Физико-механические свойства материала
Термообработка (отжиг)	Не влияет	Не влияет	Снижение плотности дефектов и возрастание стабильности микроструктуры	Снижение или исключение растягивающих остаточных напряжений	Снижаются предел текучести и предел прочности при растяжении, улучшаются пластичность и сопротивление усталости
Горячее изостатическое прессование	Увеличение шероховатости поверхности	Снижение пористости	Гомогенизация микроструктуры	Снимаются остаточные напряжения	Снижаются пределы текучести и прочности при растяжении, улучшаются пластичность и усталостные характеристики
Лазерная ударная обработка и дробеструйная обработка	Увеличение шероховатости поверхности	Не влияет	Рафинированные зерна и высокая плотность дислокаций	Замена остаточных растягивающих напряжений на сжимающие	Повышается твердость, улучшаются усталостные характеристики
Ультразвуковая нанокристаллическая модификация поверхностного слоя	Улучшение состояния поверхности	Уменьшение при поверхностной пористости	Рафинированные зерна и высокая плотность дислокаций	Замена остаточных растягивающих напряжений на сжимающие	Повышаются твердость поверхности, износо- и коррозионная стойкость, сопротивление усталости
Отделка и механическая обработка	Улучшение состояния поверхности	Не влияет	Не влияет	Не влияет	Повышаются твердость и усталостные характеристики
Лазерное полирование	Улучшение состояния поверхности	Снижение приповерхностной пористости	Рафинированные зерна	Растягивающие остаточные напряжения	Повышаются твердость, коррозионная стойкость, сопротивление усталости
Химическая и электрохимическая полировка	Снижение шероховатости поверхности	Не влияет	Не влияет	Не влияет	Улучшаются усталостные характеристики изделий

ной осью с 14,2 до 6,2 мкм. Отмечается эффективность электрохимической обработки каналов с криволинейной осью в изделиях АП, которые трудно или невозможно обработать другими методами. В этой технологии используется гибкий катод, который совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси канала (рис. 2).

В качестве катода используют движущуюся в обрабатываемом отверстии проволоку диаметром 1,5 мм, отверстие имеет диаметр 3 мм и длину 10 мм. Такая конструкция позволяет использовать плотности тока 2–7 А/см². В качестве электролита использовался раствор 10% NaNO₃ при 25°С. При обработке отверстий с непрямолинейной осью шероховатость Sa снизилась с 15,5 до 8,1 мкм. На рис. 3 представлены результаты моделирования распределения плотности тока в различных зонах

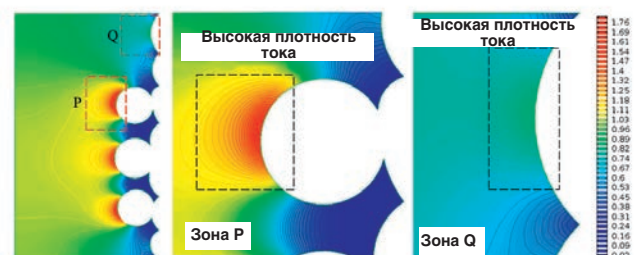
Рис. 2. Схема обработки канала с криволинейной осью



на внутренней поверхности отверстия, которые указывают на более высокую плотность тока на частицах порошка с малым радиусом кривизны.

Аналогичная технологическая задача рассмотрена в [26]. Для деталей АП с внутренними каналами предложен новый процесс электрохимико-механического комбинированного полирования (ЭМКП), в котором используется инструмент, состоящий из круга для грубого шлифования, круга для тонкого шлифования и катода. При ЭМКП электрохимическое растворение является доминирующим процессом, ответственным за удаление основного припуска, а механическое шлифование оказывает ограниченное влияние на потерю массы заготовки. При комбинированном воздействии остатки порошка удаляются грубым шлифовальным кругом, выступы трека растворяются электрохимически, а пассивная пленка, формирующаяся при электрохими-

Рис. 3. Распределение плотности тока на внутренней поверхности изделия АП [25]



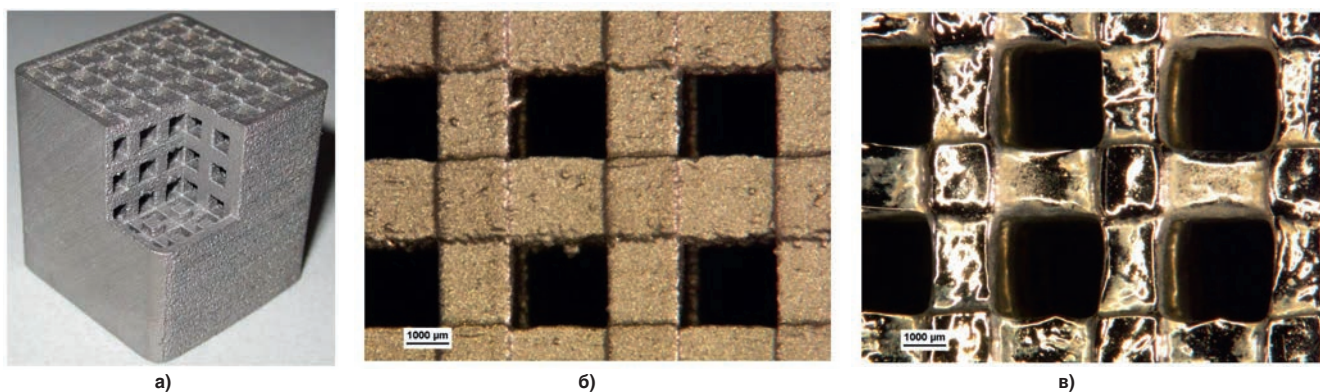


Рис. 4. Решетчатая структура после построения и очистки (а), внутренняя поверхность до (б) и после (в) ЭХО

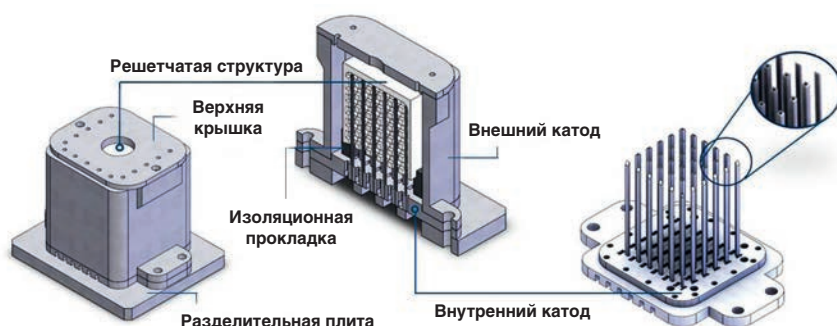


Рис. 5. Оснастка и инструмент для дополнительной обработки решетчатой конструкции

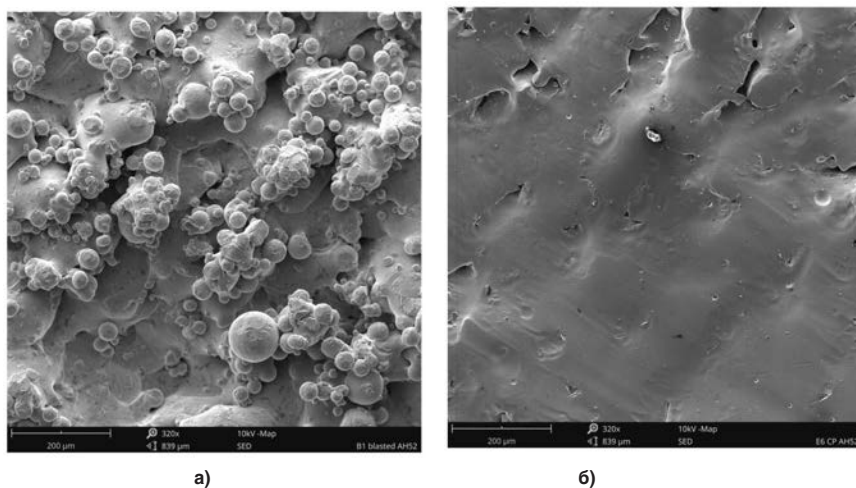


Рис. 6. Электронные микрофотографии внутренней поверхности решетки до (а) и после (б) ЭХО

Таблица 4. Достигнутые результаты

Материал	Электролит	Начальная поверхность	Конечная поверхность
Ti-6Al-4V	H ₂ SO ₄ + 150 г/л Na ₂ SO ₄	Ra/Rz = 20/80 мкм	Ra/Rz = 4/18 мкм
Hastelloy-X	150 г/л Na ₂ SO ₄	Ra/Rz = 13/30 мкм	Ra/Rz = 1,4/6 мкм

ческой обработке, разрушается и удаляется кругом тонкого шлифования. Показано, что при обработке прямого внутреннего канала диаметром 30 мм поверхность значительно улучшается, а значения шероховатости Sa и Sq уменьшаются примерно на 71,2% и 68% соответственно. Изогнутый внутренний канал диаметром 18 мм также эффективно обрабатывается

с использованием предлагаемого процесса ЭМКП. Кроме того, получаются гладкие поверхности прямых и криволинейных каналов меньшего диаметра — 5 и 9 мм, шероховатость, Sa которых снизилась с 15,9 и 18,2 мкм до 5 и 6 мкм соответственно.

В работе [27] обсуждается технология электрохимической обработки решетчатой структуры из сплава Inconel 718, внутренняя область которой малодоступна (рис. 4, а, б).

Равномерное снижение шероховатости поверхности такой конструкции представляет собой сложную технологическую задачу с большими удельными ресурсозатратами при использовании иных методов обработки. При разработке технологии ЭХО созданы оснастка и пространственно сложные катоды-инструменты, имеющие специальные штыри для проникновения в сердцевину решетчатого образца, а также отверстия для обеспечения циркуляции электролита внутри и вокруг него (рис. 5). Это позволило снять относительно равномерный припуск электрохимическим растворением по всей поверхности решетчатой конструкции с улучшением шероховатости поверхности (рис. 4, в). На рис. 6 представлены электронные микрофотографии, на которых виден характер изменения морфологии поверхности в результате ЭХО. Поверхностные агломерации исходного порошка полностью удалены, выравнивание исходной микрогеометрии значительно.

Авторы [28] сформулировали технологическую задачу электрохимической доводки как достижение максимального выравнивания при минимальном снятом припуске и представили результаты экспериментальных исследований ЭХО с использованием биполярного тока, подтверждающих возможность ее решения. Показана возможность и оценена эффективность использования технологии элек-

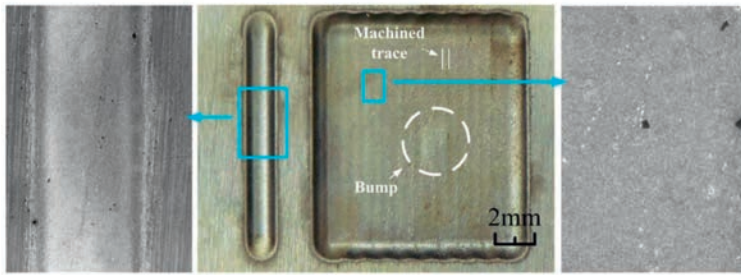


Рис. 7. Канавка и плоское занижение, полученные в сплаве Ti-6Al-4V по технологии ЭХО

трофинишной биполярной обработки для доработки изделий АП из различных материалов АП (Ti-6Al-4V, Hast-X, IN 718 и пр.) в электролитах на водной основе, не содержащих HF (табл. 4).

В [29] электрохимическая обработка (ЭХО) применена для чистовой обработки изделий аддитивного производства из сплава Inconel 718, полученных СЛП. Показано, что топография поверхности после ЭХО анизотропна, а шероховатость поверхности (R_a) уменьшается с увеличением плотности тока. С применением ЕСМ были успешно получены такие конструктивные элементы изделий, как глубокие и мелкие отверстия, канавки и плоские поверхности, причем обработанные поверхности были гладкими, границы субзерен или следы треков не наблюдались (рис. 7).

Авторы работы [30] считают, что электрохимическая полировка является одним из эффективных методов постобработки для уменьшения шероховатости поверхности. Ими исследован процесс полировки изделий из коррозионностойкой стали 316L, изготовленных селективным лазерным плавлением, в экологически чистом водном растворе NaNO_3 при плотностях тока до 40 A/cm^2 . Показано, что электрохимическое растворение поперечного сечения образца затруднено по отношению к продольному из-за меньшего размера зерен. Полированная поверхность имеет сетчатую структуру с выемками, а значения шероховатости поверхности значительно снижаются с увеличением общего количества электричества и плотности тока. Электрохимическая полировка при плотности тока 40 A/cm^2 привела к максимальному в условиях эксперимента снижению шероховатости поверхности с минимальной потерей веса. Успешно отполированы и внутренние поверхности. Значения шероховатости уменьшились с 17,3 и 18,3 мкм до 2,4 и 2,6 мкм соответственно.

Таким образом, для решения задач отделочной обработки изделий АП в ряде случаев целесообразно использовать технологии высокоскоростного электрохимического растворения, обеспечивающие низкую технологическую себестоимость, в том числе за счет применения универсальных средств технологического оснащения.

К таким технологиям относятся, например, операции электрохимической струйной обработки (electrochemical jet machining, EJM), исследованию и применению которых посвящено много работ [31–36]. В этой операции (СЭХО) при обработке пространственно сложных поверхностей используется метод построчного сканирования специального инструмента в виде струйной головки, через отверстие которой прокачивается электролит при давлении до 10 МПа (рис. 8а). Головка является универсальным инструментом со сменными насадками и устанавливается на шпиндель модернизированных или

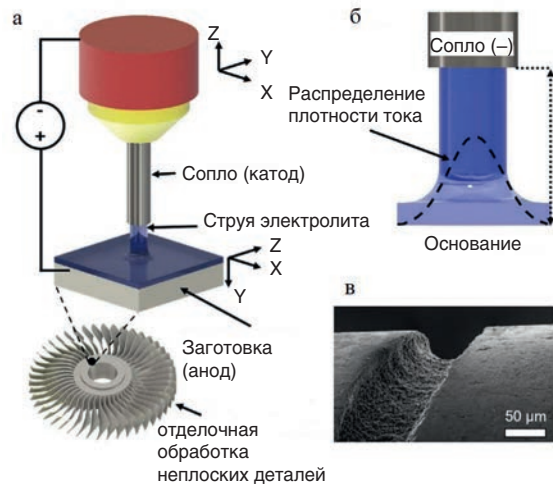


Рис. 8. Схема реализации технологии СЭХО (а), распределение плотности тока в рабочей зоне (б), канавка, полученная на криволинейной поверхности [33]

специально созданных станков на платформе многокоординатных фрезерных станков с ЧПУ. Малый диаметр рабочего торца насадки и высокая скорость прокачки электролита позволяют работать при высоких плотностях тока $200\text{--}400 \text{ A/cm}^2$ и подачах $20\text{--}50 \text{ мм/мин}$.

По мнению авторов работы [31], для последующей обработки внешних и внутренних поверхностей металлических деталей аддитивного производства требуется простой, экономичный и бесконтактный подход к финишной обработке поверхности. Отмечается, что технология струйной электрохимической обработки отвечает этим требованиям. Ими проведены исследования этой технологии для обработки образцов из стали 316L, полученных методом СЛП. Максимальная высота пика и впадины поверхности после СЛП составляла 30,1 мкм и 41,6 мкм соответственно. После СЭХО эти значения были снижены до 13,3 мкм и 9,9 мкм соответственно, а среднее арифметическое значение шероховатости, R_a уменьшилось с 7,8 мкм до 3 мкм. Таким образом, значения параметров Rz_{max} и R_a после электрохимической обработки снизились на 72% и 61% соответственно. Кроме того, после постобработки был удален слой оксидов и карбидов с поверхности построения, сформированный при изготовлении образцов. Авторами сделан вывод о том, что технология СЭХО благодаря своей простоте, универсальности, достаточно высокой производительности, относительно низкой технологической себестоимости, высокому качеству поверхностного слоя конкурентоспособна при доработке изделий АП. В [32] указывается на то, что электрохимическая струйная обработка включает в себя группу бесконтактных технологий, основанных на локализованных струях электролита и отличающихся отсутствием механического или термического воздействия на заготовку в процессе обработки. Эти технологии применяются, как для обработки поверхностей большой площади, так и для выборочного формообразования малоразмерных конструктивных элементов изделия путем электрохимического растворения или осаждения материала. В работе приведен обзор литературы, позволяющей оценить различные аспекты электрохимической струйной обработки, создать и объединить междисциплинарные направления исследований в этом кластере технологий. Сделана попытка сформировать новое понимание задач и предло-

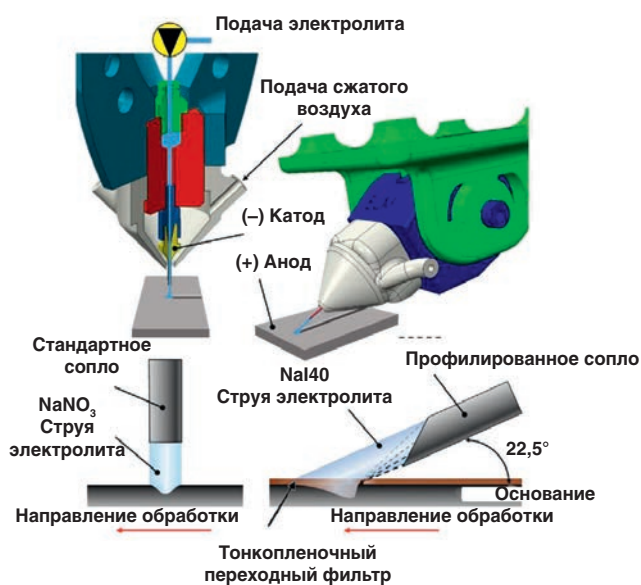


Рис. 9. Схемы СЭХО, использованные в работе [34]

жить направление будущих исследований, чтобы расширить область применения этих технологий.

В работе [33] использовался электрод-инструмент в виде сопла с диаметром рабочего торца 0,5 мм с продольной подачей 0,3–0,5 мм/с. Величина межэлектродного зазора составляла 0,4 мм, плотность тока $2...4 \text{ A/mm}^2$, в качестве электролита использовался водный раствор NaCl с концентрацией соли 2 моля/л. Авторы отмечают локализацию плотности тока вблизи рабочего торца инструмента (рис. 8б). Показано, что при подаче инструмента вдоль обрабатываемой поверхности формируется канавка со значительно меньшей шероховатостью доннышка, а наложение таких канавок с соответствующим перекрытием позволяет получить поверхности в том числе сложноконтурные (рис. 8в). Получено, что шероховатость деталей из Ti6Al-4V снижается от (Sq) значения 18,6 мм (в исходном состоянии) до 2,4 мм при быстрой чистовой обработке.

Установлено, что за счет электрофизической модификации межэлектродного зазора можно повысить точность электрохимической струйной обработки [34]. Это позволяет добиться разрешения элементов, сравнимого с другими методами структурирования поверхности, без тепловой нагрузки на поверхность. Показана возможность обработки сложных геометрических элементов с использованием технологии СЭХО. Установлено, что профилирование сопла может изменить распределение плотности тока за счет создания элементов фокусировки поля. Это позволяет манипулировать результирующим профилем получаемого паза. Установлено влияние наклона сопловой головки на результаты обработки (рис. 9).

В [35] исследовано влияние состава электролита на геометрические параметры обработанной лунки в титановом сплаве. Эксперименты проводились при постоянном токе 200 мА и постоянном времени обработки 10 с. Электролит прокачивали через сопло электрода диаметром 250 мкм с постоянной скоростью 6 мл/с в течение всего времени обработки. Начальный зазор — 0,5 мм, средняя плотность тока — 408 A/cm^2 . В работе использовались электролиты — водные растворы солей: NaNO_3 , NaBr, NaCl, NaF с концентрациями 0,5–4 М, а также смешанный электролит состава 0,5:1,5 М NaF/NaCl.

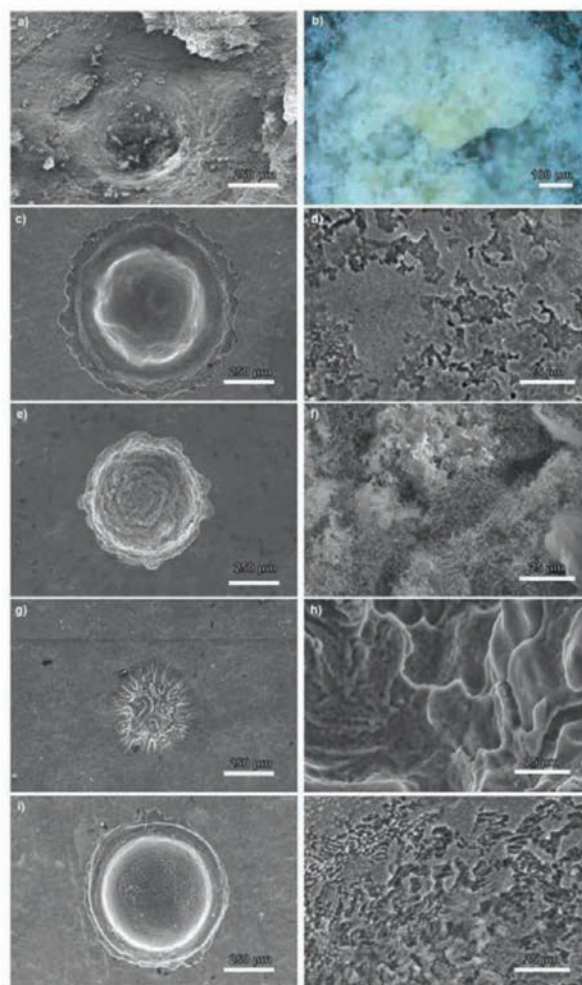


Рис. 10. Лунки травления (слева) и микрофотографии их доннышка (справа), полученные в растворах NaNO_3 , NaBr, NaCl, NaF и NaF/NaCl (сверху вниз)

Сделан вывод о том, что электролиты на основе хлорида натрия в условиях данного эксперимента обеспечивают наилучшую текстуру поверхности, наибольшие значения глубины лунок и скорости съема материала, а также низкую шероховатость поверхности, а бромидные электролиты демонстрируют более высокую точность формы лунки. Так, получено, что при обработке в хлоридном растворе скорость удаления массы увеличивается более чем вдвое по отношению к раствору нитрата натрия. Добавление к хлоридному раствору фторида натрия вдвое снижает эффект перереза (отношение диаметра лунки к диаметру сопла) в обработанных лунках (рис. 10).

В [36] изложены результаты совместного проекта Oak Ridge National Lab и Voxel Innovations, выполненного с целью оценки возможности улучшения качества поверхности изделия из склонного к растрескиванию жаропрочного сплава на основе никеля Inconel 738, изготовленного методом селективного электроно-лучевого плавления (EBM) с использованием импульсной электрохимической обработки (PECM). Для изготовления заготовок АП методом СЭЛП использовалась установка Arcam Q10+.

Проведены эксперименты на нескольких типах образцов с возрастающим уровнем конструктивной сложности, содержащих конструктивные элементы турбинных лопаток. Эксперименты проводились с использованием водного солевого электролита на малых межэлектродных

Таблица 5. Снижение шероховатости заготовки АП после импульсной ЭХО

Конструктивный элемент	Ra _н , мкм	Ra _к , мкм	Снижение шероховатости	
			Ra _н /Ra _к	(Ra _н - Ra _к) / Ra _н , %
Замковая часть	5,7	1,33	4,3	76,6
Полка верхняя	51	1,52	33,6	97
Входная кромка	56,7	1,92	29,5	96,6
Выходная кромка	41,9	1,87	22,4	95,4
Спинка пера	98,5	1,87	52,6	98
Корыто пера	123,6	1,97	62,7	98,3

зазорах. В процессе экспериментальных работ установлено, что параметры импульса оказывают значительное влияние на удаление следов сборки, присущих процессу АМ. Параметры можно настраивать для удаления как макро-, так и микронеровностей. Опробовано несколько форм катодов и приспособлений для организации эффективного потока электролита.

Результаты импульсной электрохимической обработки представлены в табл. 5. Видно, что ИЭХО обеспечивает значительное снижение шероховатости на всех характерных участках лопатки. Более того, несмотря на значительный разброс значений начального параметра Ra_н (почти на два порядка величины), конечная шероховатость лежит в пределах Ra_к = 1,33–1,97 мкм, то есть обеспечивается однородность поверхности всех конструктивных элементов, что имеет важное значение при обработке аэродинамических профилей.

Рассмотрена возможность изготовления аэродинамических профилей почти готовой формы и использования процесса ИЭХО для полной обработки критических поверхностей. На рис. 11 показаны лопатка турбины, полученная с использованием технологии ИЭХО, и заготовка АП. Лопатки обработаны на двух режимах: слева и справа.

На рис. 12 показаны результаты измерения шероховатости на входной кромке после СЭЛП и дополнительной электрохимической обработки. На рис. 13 представлена лопатка, перо и переходные радиусы которой обработаны на операции импульсной ЭХО.

Авторы отмечают, что производительность данной технологии достаточна для производства лопаток турбин в требуемом масштабе. Анализ области, граничащей с электрохимически обработанными поверхностями, не выявил каких-либо изменений микроструктуры по сравнению с исходным материалом.

Результаты выполненных работ [28, 36] подтверждают тот факт, что импульсная электрохимическая обработка является перспективным процессом финишной обработки для обработки заготовок АП, полученных методом СЭЛП.

Таким образом, используя область параметров режима электролиза, характерную для электрохимической размерной обработки, можно эффективно решать технологическую задачу обработки труднодоступных мест изделий со сложной геометрией и задачу обработки критических мест (элементов) изделия, наиболее уязвимых для образования трещин при циклической нагрузке [17].

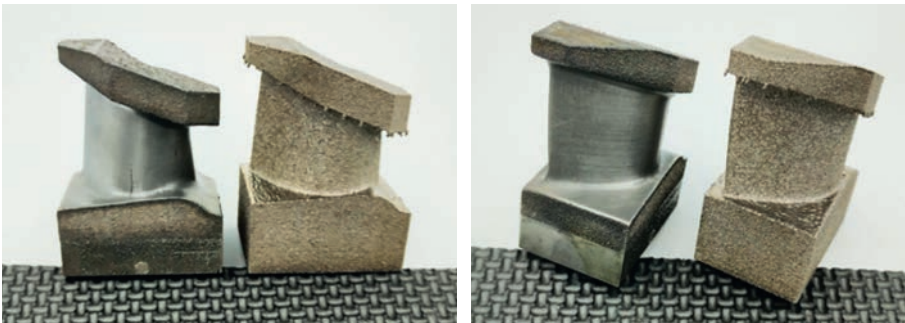


Рис. 11. Лопатки турбины и заготовки АП (СЭЛП)

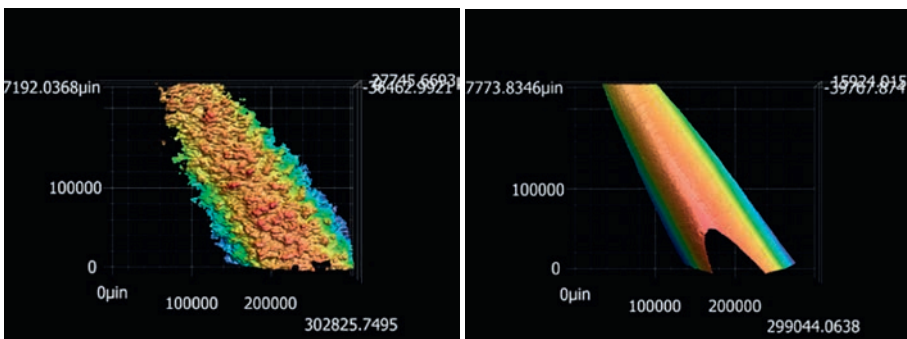


Рис. 12. Шероховатость поверхности входной кромки лопатки после СЭЛП (а) и прецизионной ЭХО (б)



Рис. 13. Перо лопатки и переходный радиус, изготовленные по технологии импульсной ЭХО

Литература

1. H. Fayazfar, J. Sharifi, M.K. Keshavarz (2023). An overview of surface roughness enhancement of additively manufactured metal parts: a path towards removing the post-print bottleneck for complex geometries. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 125(3-4) DOI:10.1007/s00170-023-10814-6.
2. Kumbhar N.N., Mulay A. V. Post Processing Methods used to Improve Surface Finish of Products which are Manufactured by Additive Manufacturing Technologies: A Review. *J. Inst. Eng.* 2018, 99, 481–487.
3. Nesli, Ş., Yilmaz, O. (2021). Surface characteristics of laser polished Ti-6Al-4V parts produced by electron beam melting additive manufacturing process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1–19.
4. Wang P., Sin W., Nai M. et al. Effects of Processing Parameters on Surface Roughness of Additive Manufactured Ti-6Al-4V via Electron Beam Melting/ *Materials* 2017, 10, 1121; Doi:10.3390/ma10101121.
5. A. W. Hashmi, H. S. Mali, A. Meena et al. Surface characteristics improvement methods for metal additively manufactured parts: a review *Advances in Materials and Processing Technologies* (2022) 8(9):1-40 DOI:10.1080/2374068X.2022.2077535.
6. X. Zhao, S. Li, M. Zhang, Y. Liu, T. B. Sercombe, S. Wang, Y. Hao, R. Yang, L. E. Murr. Comparison of the microstructures and mechanical properties of Ti-6Al-4V fabricated by selective laser melting and electron beam melting. *Mater. Des.* 95 (2016). 21–31.
7. B. Vayssette, N. Saintier, C. Brugger, M. Elmay, E. Pessard. Surface roughness of Ti-6Al-4V parts obtained by SLM and EBM: effect on the high cycle fatigue life. *Proc. Eng.* 213 (2018) 89–97.
8. Vayssette B., Saintier N., Brugger C. et al. Numerical modelling of surface roughness effect on the fatigue behavior of Ti-6Al-4V obtained by additive manufacturing. *Int. Journal of Fatigue* 123, 180–195.
9. Liu, S.; Shin, Y. C. Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review. *Mater. Des.* 2019, 164, 107552.
10. Klassen, A. Bauereiß and C. Korner. Modelling of electron beam absorption in complex geometries. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 47 (2014) 065307 (11pp) DOI:10.1088/0022-3727/47/6/065307.
11. Sh. Cao, Y. Zou, Ch. Voon S. Lim, X. Wu. Review of laser powder bed fusion (LPBF) fabricated Ti-6Al-4V: process, post-process treatment, microstructure, and property. *Advanced Manufacturing*. 2(3). 20 (2021): 313-332.
12. J. Boban, A. Ahmed, M. A. Rahman et al. Polishing of additive manufactured metallic components: retrospect on existing methods and future prospects 2022 *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 121(1-2) DOI:10.1007/s00170-022-09382-y
13. S. Narayanan, T.S.N., Park, H.W. (2022). Surface Finishing Post-treatments for Additive Manufactured Metallic Components. In: Khan, M.A., Jappes, J.T.W. (eds) *Innovations in Additive Manufacturing*. Springer Tracts in Additive Manufacturing. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-89401-6_8.
14. ГОСТ Р 57558-2017/ ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. 2017.
15. Krasnova E. V., Saushkin, B. P., Shandrov B. V. Pre-production engineering in additive manufacturing/ *Lecture Notes in Mechanical Engineering. Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021)*. V. II. Pages 261–268.
16. DOI:https://doi.org/10.1007/978-3-030-85230-6.
17. Löber L, Flache C, Petters R, Kühn U, Eckert J (2013) Comparison of Different Post Processing Technologies for SLM Generated 316L Steel Parts. *Rapid Prototyping Journal* 19:173-179.
18. Ye, C., Zhang, C., Zhao, J. et al. Effects of Post-processing on the Surface Finish, Porosity, Residual Stresses, and Fatigue Performance of Additive Manufactured Metals: A Review. *J. of Mater Eng and Perform* 30, 6407-6425 (2021). DOI:10.1007/s11665-021-06021-7.
19. Наукоемкие технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии / Ю. А. Моргунов, Д. В. Панов, Б. П. Саушкин и др.; под ред. Б. П. Саушкина.— М.: Форум, 2013.— 928 с.
20. Mu, J., Sun, T., Lun Alex Leung, C., Oliveira, J.P., Wu, Y., Wang, H., Wang, H., Application of electrochemical polishing in surface treatment of additively manufactured structures: a review, *Progress in Materials Science* (2023), DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101109>.
21. Криони Н. К., Мингажев А. Д., Горбатова О. Г. и др./ *Обработка внутренних поверхностей деталей методом сухого электрополирования / Вопросы науки и образования*. 2022, 19(103).— С. 15–22.
22. M. M. Basha; S. M. Basha; V. K. Jain; M. R. Sankar. State of the art on chemical and electrochemical based finishing processes for additive manufactured features. 2022 *Materials Science. Additive Manufacturing*. 58 103028 DOI:10.1016/j.addma.2022.103028
23. Электрохимическая обработка изделий авиационно-космической техники/ В. И. Ломаев, Ю. А. Моргунов, Б. П. Саушкин, Г. Б. Саушкин; под ред. Б. П. Саушкина.— М.: ФОРУМ, 2013.— 480 с.
24. Саушкин Б. П., Атанасянц А. Г. Отделочная электрохимическая обработка/ *Практика противокоррозионной защиты*. 2002, 1.— С. 42–49.
25. Саушкин Б. П. Электрохимическая отделочная обработка материалов/ *Металлообработка*, 2001, 1.— С. 27–30.
26. Ch. Zhao, N. Qu, X. Tang Removal of adhesive powders from additive-manufactured internal surface via electrochemical machining with flexible cathode. 2021. *Materials Science. Precision Engineering-journal of The International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology* 67 (2021) 438-452. DOI:10.1016/j.precisioneng.2020.11.003.
27. L. An, D. Wang, D. Zhu Combined electrochemical and mechanical polishing of interior channels in parts made by additive manufacturing. *Additive Manufacturing*, Volume 51, (2022), 102638 DOI:10.1016/j.addma.2022.102638.
28. M. E. Lynch, K. Williams, M. Cabrera, T. Beccuti Surface finishing of additively manufactured IN718 lattices by electrochemical machining *The Int. J. of Adv. Manufacturing Technology*, V. 113, 967-984 (2021).
29. T. D. Hall, H. Garich, S. T. Snyder, E. J. Taylor *Electrochemical Surface Finishing of Additively Manufactured Parts 2017 231-st ECS Meeting, New Orleans*.
30. X. Wang, N. Qu, P. Guo et al. Electrochemical Machining Properties of the Laser Rapid Formed Inconel 718 Alloy in NaNO₃ Solution. *J. Electrochem. Soc.* V.164, Number 14 (2017) 164 E548 DOI 10.1149/2.1221714jes.
31. L. An, D. Wang, D. Zhu Improvement on surface quality of 316L stainless steel fabricated by laser powder bed fusion via electrochemical polishing in NaNO₃ solution 2022 *J. of Manufacturing Processes* 83(8):325-338 DOI:10.1016/j.jmapro.2022.09.005
32. P. Kumar, P. Dixit, B. Chaudhary et al. Surface finishing of an additively manufactured part using electrochemical jet machining (2023) *Materials Today Communications* DOI:10.1016/j.mtcomm.2023.105581.
33. A. Speidel, I. Bisterov, K. Kumar Saxena *Electrochemical jet manufacturing technology: From fundamentals to application International Journal of Machine Tools and Manufacture* 180 (2022):103931 DOI:10.1016/j.ijmachtools.2022.103931.
34. Speidel A., Sélo R., Bisterov I. et al. Post processing of additively manufactured parts using electrochemical jet machining. *Materials Letters*. 292(6):129671. DOI:10.1016/j.matlet.2021.129671.
35. A. T. Clare, A. Speidel, I. Bisterov et al. Precision enhanced electrochemical jet processing *CIRP Annals* 67 (1), 205-208 DOI:10.1016/j.cirp.2018.04.086.
36. A. Speidel, J. Mitchell-Smith, D. A. Walsh et al. Electrolyte jet machining of titanium alloys using novel electrolyte solutions. *Procedia CIRP* 42: 367-372 DOI:10.1016/j.procir.2016.02.200 36.
37. M. Kirka, D. Herrington *Electrochemical Machining Technology for Surface Improvements of Ni-base Superalloy Additive Manufactured Components*. Oak ridge national laboratory. 2019.— P. 1–6. ORNL/TM-2019/1083.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ: МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ, А НЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Внедрение BIM-технологий для решения производственных задач обеспечивает возможность увидеть все нестыковки и наложения основных конструкций и других слоев проектирования еще до начала физического воплощения объекта или его изготовления на предприятии. А проведение точных измерений на промежуточных этапах производства и верификация полученных данных с BIM-моделью улучшает повторяемость и откроют новый этап развития промышленной роботизации для несерийной продукции.

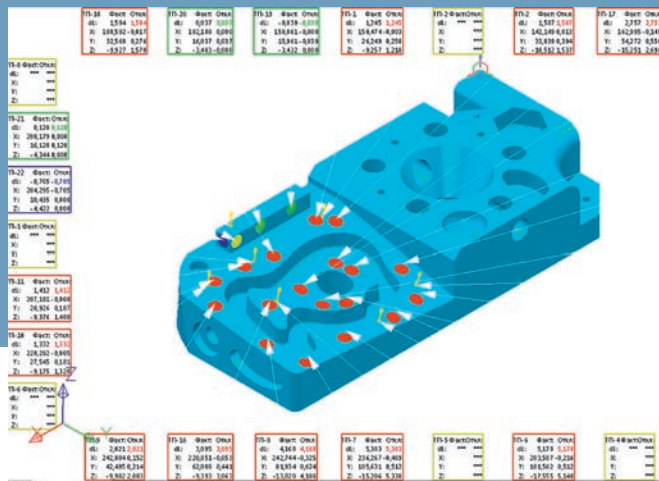


Глеб Миклашевский,
эксперт по подготовке
производства
металлических конструкций,
www.glebmiklashevskiy.ru

Около 10 лет назад в России стала активно продвигаться концепция BIM-моделирования (BIM — Building Information Model — информационное моделирование в строительстве). Основная ее суть в том, что у заказчиков, исполнителей и конечных потребителей появляется возможность увидеть своими глазами то, чего еще не существует, а также оценить физические свойства объекта, эксплуатационные характеристики и экономическую выгоду от реализации проекта или производства чего-либо.

Свое продолжение информационное моделирование получило с развитием цифровых двойников, позволяющих погрузиться в детали процессов, увидеть и устранить любые несоответствия еще до их появления. Однако все эти «игры разума» имеют весьма и весьма опосредованное отношение к реальному предприятию и слабо вписываются в его реальные алгоритмы. К счастью, совсем недавно стали появляться инструменты, позволяющие объединить интеллектуальные проекции BIM-технологий и повседневную действительность заводов металлических конструкций.

Речь идет о метрологии. А точнее — об измерениях, способных объективно выявлять несоответствия на самых ранних стадиях производства, чтобы своевременно предотвратить попадание бракованных изделий на следующие технологические этапы производственного цикла. Модель как осевая линия объективно является абстракцией в чистом виде. При этом отклонения от нее влекут за собой вполне осязаемые последствия в виде дополнительных затрат на исправление бракованных изделий и убытки.



ТЕРМИНЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИИ

Информационное моделирование — использование модели в качестве фундамента для получения готовой продукции, удовлетворяющей предъявляемым требованиям по качеству.

Комплексное применение предусматривает объединение основных направлений методологии в единое целое для достижения наилучшего синергетического эффекта от использования концепции.

Моделирование — визуализация конечного продукта и назначение основных характеристик проекта, выполняющих заложенные функции и удовлетворяющих условиям его дальнейшей эксплуатации.

Теоретически расширенные возможности манипулирования объектом в процессе работы позволяют детально рассмотреть установку, учесть все технические нюансы конструкции и проверить сопряжение элементов на предмет коллизий, неизменно возникающих в процессе согласования функциональных уровней проекции.

Проектирование — процесс детального определения архитектуры, компонентов, интерфейсов и других характеристик системы или ее части (ISO 24765). Согласно официальному определению, результатом проектирования является отображение совокупности моделей, свойств и характеристик, описанных в форме, пригодной для нормального функционирования системы.

В общем виде при проектировании осуществляют прочностные расчеты, предназначенные для безопасной эксплуатации объекта, назначают номенклатуры профилей, используемых в конструкциях, и составляют объемную спецификацию материалов для расчета стоимости и принятия окончательного решения об экономической целесообразности выбранного концептуального решения.

Современное представление об информационном моделировании предполагает, что **контроль** является проверкой самой модели на соответствие предъявляемым требованиям. **Визуальный контроль модели** показывает, соответствует ли модель основному замыслу проекта. Также контролируется **соответствие модели принятым стандартам**.

Целостность модели — проверка спецификации на отсутствие данных об удаленных и открепленных фрагментах, а также дубликатов элементов модели. Также имеет место достаточно подробный чек-лист, содержащий в себе методологию и очередность проверок модели на отсутствие пересечений (коллизий), на соответствие по содержанию, передаче данных и т. д.

Помимо самой модели, представляющей из себя набор взаимосвязанных элементов объекта, объемная концепция информационного моделирования предусматривает такое понятие, как цифровой двойник. **Цифровой двойник** — это информационный прототип заводского изготовления продукции или строительства, включающий в себя технологическую составляющую производства. На сегодняшний день этот метод комплексной визуализации процессов редко применяется в силу затратности и высоких требований квалификации персонала. Однако набирает обороты в связи с подтвержденной, реальной эффективностью, в особенности если речь идет о сложном производстве с большим количеством технологических переделов и операций.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

В большинстве случаев современное производство по изготовлению строительных металлоконструкций не имеет в своем арсенале действующих инструментов для промышленного (штатного) изготовления несерийной продукции с высокой степенью повторяемости по геометрии. Помимо линейных допусков на общие размеры (присоединительные, габаритные и т.д.) в рабочей документации (КМ), как правило, отсутствует конкретика и требования по форме детали. Разумеется, допуски прямолинейности, соосности, осевого скручивания и т.д. можно найти в недрах нормативных ссылок и общих требований к проекту, но на практике эта неблагоприятная «археология» попросту игнорируется сотрудниками предприятия.

Второй важной причиной рассогласования фактической продукции и модели является короткий (усеченный) цикл подготовки производства. Как известно, металл обладает неприятным свойством сохранять, накапливать и отдавать поверхностные и внутренние напряжения, образующиеся в период жизненного цикла изготовления проката, от начала до поставки на завод и далее по циклу движения у конечного потребителя. Прежде всего это выражено высокой амплитудой линейных деформаций под воздействием термических нагрузок по ходу изготовления металлических конструкций. Для минимизации влияния приобретенных поверхностных и внутренних напряжений на заводе необходимо иметь один или несколько участков механической релаксации и нормализации структуры металла после технологических воздействий. Другими словами, механическая релаксация внутренних напряжений металла по ходу производства стабилизирует процессы изготовления готовой продукции, делает их более предсказуемыми и обеспечивает высокую повторяемость изделий несерийного толка.

Третий момент, позволяющий изготовить металлические конструкции согласно проекту, это верификация размеров и отклонений деталей, сборочных единиц и крупногабаритных элементов с итоговой BIM-моделью, т.е. конечным результатом. Сравнение промежуточных этапов с эталоном позволит избежать дополнительных затрат на исправление и оперативно корректировать цикл производства под задачи и потребности конкретного объекта.

Качественное сравнение готовой продукции с требованиями в части отклонений невозможно без использования соответствующих инструментов, принципиально изменяющих метрологию отдела технического контроля в части проведения измерений. На мой взгляд, для проведения качественных измерений и последующего сравнения гото-

вого изделия с моделью на заводе по изготовлению крупногабаритных, но не серийных металлических конструкций и металлообрабатывающей промышленности в целом хорошо подойдут электронные тахеометры с возможностью работы без отражателя на расстоянии не менее 500 метров. Объективная точность измерения таких приспособлений колеблется в диапазоне от ± 1 до ± 2 , в зависимости от режима. Угловая точность измерений не превышает 5".

В случае модернизации производства и устройства стационарных сборочных ступелей, крупногабаритной оснастки и оборудования я рекомендую локальное, эпизодическое использование лазерных трекеров с погрешностью измерений не более 60 мкм. По сути, основными отличиями электронного тахеометра является отсутствие автоматической развертки лазерного луча по угловым координатам, значительные погрешности (до 2 мм), при этом относительно невысокая стоимость прибора и услуг при заказе измерений у сторонних специализированных организаций.

Очевидно, что практика использования высокоточных измерений на ключевых этапах сборки металлических конструкций позволит увеличить показатели качества готовой продукции на несколько порядков, причем без особенных усилий и затрат со стороны собственников предприятия.

Справедливо будет отметить, что изменение характера измерений на ключевых этапах сборки послужит объективной причиной для пересмотра общего цикла производства, соответствия отдельно взятой детали и совокупной структуры собираемого изделия в части предельных отклонений.

Несмотря на многочисленные рекомендации различных практик повышения эффективности производства о необходимости использования пооперационного контроля, далеко не каждое предприятие способно прислушаться к этой информации. Объективные причины могут быть самые разные, но основные и самые распространенные две: 1. «И так работает»; 2. «Все так работают».

По характеру изготовления металлоизделия можно условно разделить на серийные и несерийные. Отсюда способ их изготовления делится на конвейерный и агрегатно-поточный. Основной задачей всех без исключения специалистов по развитию производства со времен начала индустриализации является конвейерное изготовление несерийной продукции.

На заводе по изготовлению деталей кузова для автомобилей Ferrari я насчитал более 10 этапов оптического и механического измерения конфигурации деталей и сборочных единиц с обязательной верификацией фактического изделия с эталоном.

В связи с высокой роботизацией конвейерного производства, не говоря уже об итоговой стоимости бракованных деталей и сборочных узлов, допущенных на следующие технологические переделы, своевременное выявление критических несоответствий геометрии по циклу является первостепенной задачей для предприятия.

Исходя из вышеизложенного, высокоточное измерение промежуточных этапов изготовления металлических конструкций способно не только улучшить качественные показатели готовых изделий, но и положить начало роботизации изготовления несерийной продукции в полном смысле этого определения.

ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ



Традиционные технологии изготовления шлифовальных кругов в ближайшие годы исчерпают свой потенциал совершенствования. В этой связи чрезвычайно актуален поиск технологий создания абразивного инструмента, основанных на новых физических принципах, направлений развития и повышения эксплуатационных свойств инструмента, применение которого постоянно растет. В качестве одного из наиболее перспективных вариантов рассматривается использование лазера в процессах изготовления шлифовальных кругов из сверхтвердых абразивов — алмаза и кубического нитрида бора.



В.К. Ермолаев, к.т.н.,
технический эксперт
ООО «Шлифовальные станки»
vad1605@yandex.ru

Лазерная обработка делает возможным повысить эффективность, а в некоторых случаях управлять режущей способностью абразивного инструмента. С ее помощью создается алмазоподобный режущий слой на круге, структурируется рельеф, может освобождаться от стружки шлифовальный круг, производится его правка и эффективная лазерно-абразивная обработка (рис. 1).

Можно прогнозировать, что использование лазерных технологий на первом этапе внедрения будет казаться необычным, однако стабильная воспроизводимость результатов с высокой точностью и надежностью, сокращение производственного времени за счет высокой скорости и возможности обработки большой площади за один проход, а также экологичность и безопасность процессов являются неоспоримыми преимуществами, сводящими к минимуму достаточно высокую стоимость лазерного оборудования и его обслуживания. Кроме того, лазерные технологии, являясь в настоящее время в большой степени исследовательскими, постоянно развиваются, становятся промышленными и более доступными по цене.

В данной статье будут рассмотрены вопросы создания и управления рельефом абразивного инструмента при его изготовлении.

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, СОЗДАННЫЕ С ПОМОЩЬЮ DLC И ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ

Известно [1, 2], что покрытия DLC (*Diamond-Like Carbon*) представляют собой алмазоподобный углерод, обладающий уникальными свойствами: высокой твердостью, химической стойкостью и низким коэффициентом трения. Алмазоподобные покрытия DLC можно получить различными методами, включая CVD, PVD и PCD. Кроме покрытий, содержащих алмаз, можно наносить слой PCBN — покрытие из кубического нитрида бора (CBN), который является близким по твердости к алмазу.

В технологиях нанесения перечисленных покрытий могут использоваться лазеры, так в процессе PVD для нагрева и испарения материалов, которые затем конденсируются на поверхности изделий. В процессе CVD лазер применяется для нагрева и ионизации газов, что способствует более эффективному протеканию химических реакций и образованию алмазоподобного углерода. В процессах PCD и PCBN лазер используется для нанесения алмазных зерен или порошка CBN на поверхность изделий.

Чтобы устранить случайную кристаллографическую ориентацию абразивных зерен с присущим им неоднородным распределением режущих кромок как по площади, так и по высоте выступания над рабочей поверхностью традиционного круга, в работах [3], [4] предлагается новая концепция создания надежного инструмента с упорядоченно ориентированными и геометрически одинаковыми абразивными микромассивами (микроматрицами) в монокристаллическом CVD-алмазе, изготовленными на основе метода импульсной лазерной абляции (*Pulsed Laser Ablation — PLA*).

На рис. 2 [3] показаны элементы из многоточечных инструментов с контролируемыми свойствами, которые были изготовлены из монокристаллического CVD-алмаза.

Прецизионные алмазные микромассивы, рассмотренные в исследовании [4], были разработаны специально для улучшения микрошлифования материала на основе титана — Ti6Al4V. В работе [3] проведена оптимизация процесса лазерной абляции с использованием импульсного лазера ND:YAG с модуляцией добротности для производства ориентированных алмазных микроматриц. Технология включает микрорежущие элементы, каждый из которых имеет одинако-



Рис. 1. Применение лазерных технологий воздействия в шлифовании

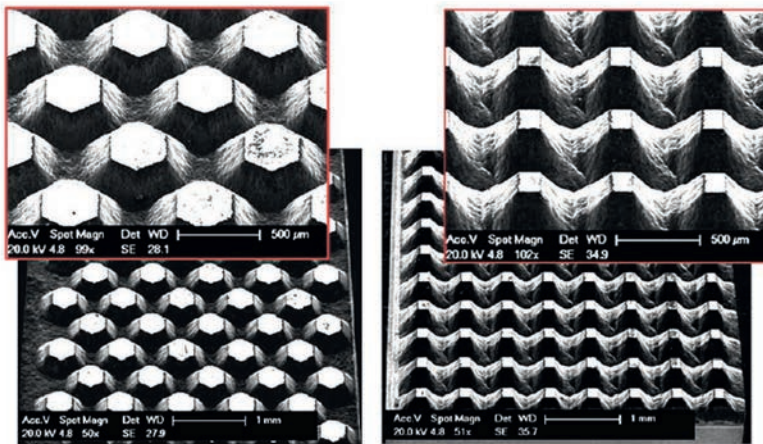


Рис. 2. СЭМ-микрофотографии микроматриц, полученных с помощью лазерной абляции из CVD-алмаза

вый размер, форму и расстояние между ними (рис. 3). Эта концепция также позволяет наилучшим образом использовать анизотропные свойства монокристаллического алмаза и устраняет межзерновые различия в свойствах, возникающие в результате случайной кристаллографической ориентации обычного алмазного абразивного инструмента.

В работе [3] указывается возможность производства *криволинейных* алмазных микромассивов, которые выходят за пределы кристаллографических плоскостей исходного алмазного материала, где каждый кристаллит будет иметь постепенно изменяющуюся ориентацию, например, от плоскости (100) к соседней плоскости (111) или (110). Цифры в скобках, определяющие ориентацию, указывают на расположение атомов в кристалле по осям x, y, z. Это открывает потенциал для производства сверхточных формообразующих инструментов.

В исследовании [4] предложили лазерную абляцию CVD-алмаза не только для придания формы алмазу, но и для достижения шахматных микроструктур, что свидетельствует об обоснованности использования лазера для изготовления из монокристаллического алмаза высокопроизводительных шлифовальных кругов, диаметр которых может составлять несколько миллиметров.

В работе [5] для создания микроабразивных массивов с помощью импульсной лазерной абляции были выбраны только поликристаллические структуры PCD/PCBN. Тол-

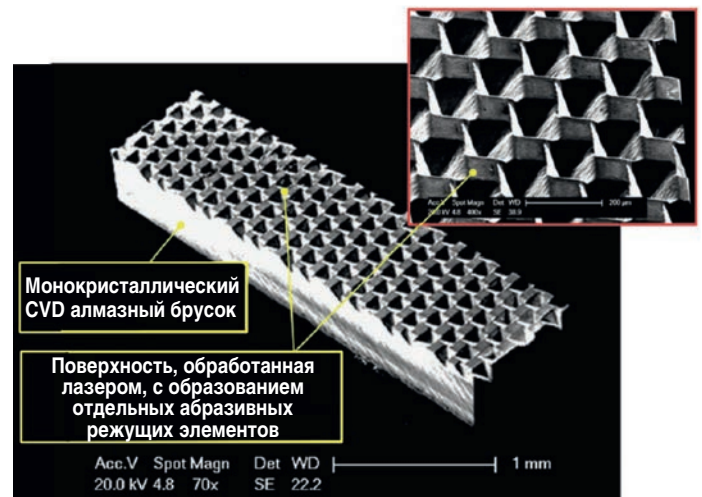


Рис. 3. Оригинальное представление преимущественно ориентированных алмазных микроматриц для решения задачи шлифования [4]

стые пленки PCD — 0,5 мм, непосредственно синтезированные на подложке WC (10×10×1 мм), и толстые пленки PCBN трех марок (0,7 мм), непосредственно синтезированные на подложке из WC (10×10×1 мм).

Для проведения процесса абляции применялась лазерная установка DMG LASERTEC 60 HSC Q-switch Nd:YAG с техническими характеристиками: длина волны 1064 нм; максимальная выходная мощность 100 Вт; максимальная частота импульсов 50 кГц; размер фокуса 0,40 мм. Оборудование было установлено на линейных направляющих, чтобы обеспечить движение по трем осям.

При проектировании параметров режущего рельефа и отдельного абразивного элемента (рис. 4) была выбрана геометрия режущей кромки с положительным передним углом 6° (допуск ±4°) и задним углом 30° (допуск ±4°).

На рис. 4 приведены параметры геометрии, данные теоретического расчета площади контакта для глубины резания 1 и 5 мкм и номинальный диаметр для выбора зернистости отдельного абразивного элемента.

Значения параметров лазерной установки при проведении экспериментов: средняя мощность лазера $P_m = 50\text{--}100$ Вт, частота импульсов $f = 30\text{--}50$ кГц и скорость перемещения луча $v = 100\text{--}900$ мм/с на композиты образцов PCD (10×10×1,5 мм) и PCBN (10×10×1,7 мм).

Каждый созданный массив состоял из перекрывающихся режущих элементов (глубина 0,1 мм, длина 0,3 мм, ширина 0,25 мм) и имел плотность 96 абразивных элементов на мм² [5].

После расчета минимального номинального диаметра отдельного режущего элемента его сравнивали с размерами абразивов, классифицированных по стандартам Федерации европейских производителей абразивов (FEPA), что привело к выбору среднего номинального размера 500 (для обеспечения разумного сравнения с размерами микроабразивных кромок элемента). После того как были выбраны размер и тип зерна (D501 для образца алмаза и B501 для образца кубического нитрида бора), базовые образцы для гальванического покрытия были спроектированы с теми же размерами, что и массивы, генерируемые лазером (10×10×1,5 мм). В обоих случаях матери-

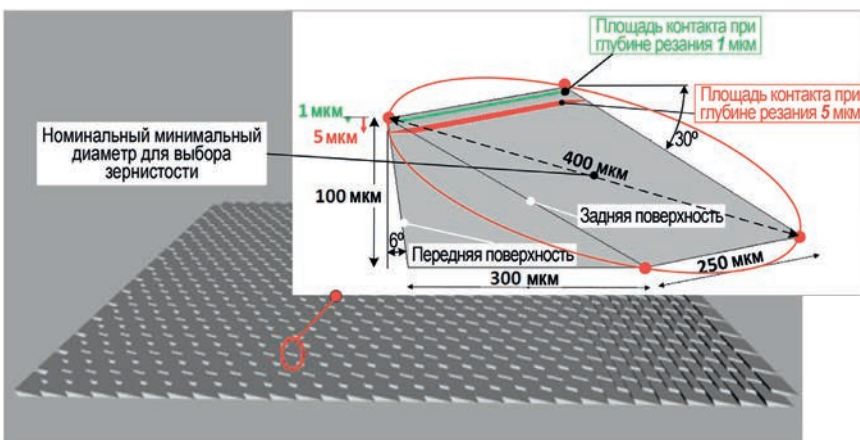


Рис. 4. САПР режущей поверхности абразивного рельефа при создании режущего массива с заданными параметрами с помощью лазерной абляции

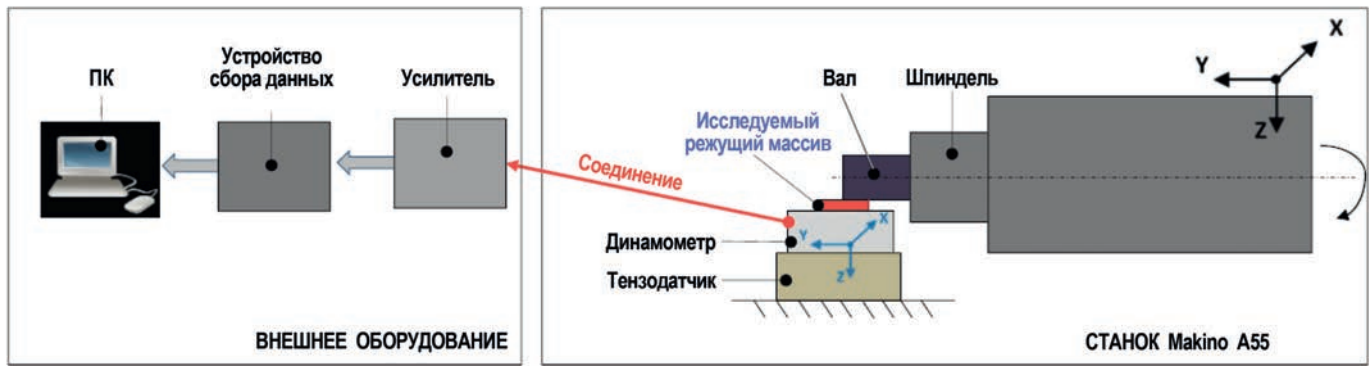


Рис. 5. Схема стенда для сравнительных испытаний

алом подложки был карбид бора (толщина 1 мм), а типом связи являлось гальванопокрытие никеля.

После создания микроабразивных массивов была разработана процедура оценки характеристик износа каждого созданного массива. Для испытаний использовался 5-осевой шлифовальный центр Makino A55 с максимальным числом оборотов шпинделя 19 000 об/мин., мощностью 30 кВт, силы резания регистрировались с частотой дискретизации 10 кГц. Схема испытательного стенда представлена на рис. 5. Испытания на износ/резание проводились с использованием СОЖ Houghton 3380, концентрацией 8–10%, подаваемой через форсунку под давлением 20 бар.

Испытание каждой матрицы состояло из заранее установленного количества проходов: 5000 для матриц PCD и гальванического алмаза и 1000 проходов для матриц PCBN и гальванического CBN. Каждый проход представлял собой комбинацию следующих движений вдоль двух осей: касание массива при вращении вала из диоксида кремния — SiO₂, глубина врезания вала 5 мкм в массив в направлении Z и поступательное движение массива в направлении X.

Из анализа работ [4–6] можно сделать следующие выводы:

- Абразивные массивы PCD и PCBN, полученные в результате лазерной абляции, показали более высокую износостойкость по сравнению с наиболее часто используемыми абразивными гальваническими подушечками (D501, B501).
- При обработке абразивными массивами вся глубина резания удалялась передними режущими кромками, при этом с вала снималось больше материала, чем в случае традиционных брусков, что сокращало время контакта за один проход с 2 сек до 1,25 сек и провоцировало изнашивание только одной стороны массива.
- Однородность высоты кромок абразивного массива приводила к прогнозируемому изменению силы резания, в то время как случайная высота зерен, типичная для гальванического образца, не гарантировала постоянный

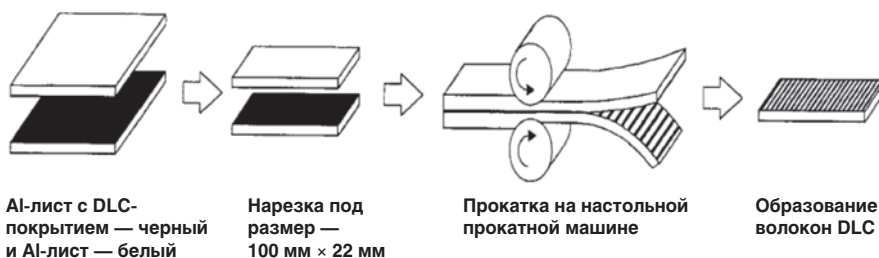


Рис. 6. Процесс формирования DLC-волокон

контакт с валом и вызывала переменные пики силы резания.

- Упорядоченные массивы микрорежущих кромок, несмотря на то, что положительный передний угол режущего элемента приводит к более слабой режущей кромке и увеличивает склонность к поломке кромки, обеспечивают на 70% меньшее контактное давление по сравнению с отрицательным передним углом, типичным для зерен в гальванических образцах.

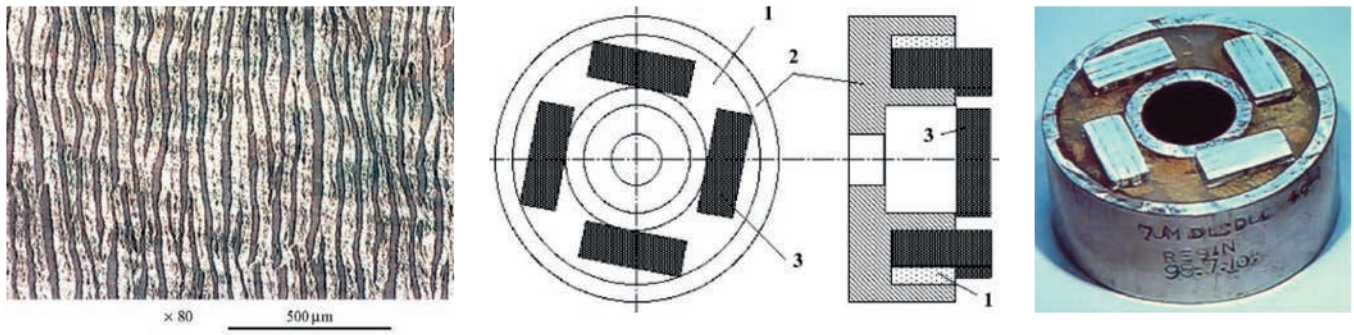
Таким образом, подтверждены лучшие характеристики износа спроектированных и изготовленных с помощью импульсной лазерной абляции массивов микрорежущих кромок, и они представляют собой шаг вперед в замене гальванических подушечек со стохастически распределенными абразивами для операций шлифования и полировки.

В статье [6] были исследованы процессы формирования волокон алмазоподобного углерода DLC с твердостью по Кнупу Hk: 8000–10000, приближающейся к твердости алмаза, и изготовления круга из этих волокон, ориентированных перпендикулярно рабочей поверхности шлифовального круга путем ламинирования листов Al вместе с волокнами.

Процесс формирования алмазоподобных DLC-волокон, показанный на рис. 6, сводился к следующему: вначале пленка DLC наносилась на алюминиевую подложку 1050 размером 300 мм × 200 мм, при этом средняя толщина Al-подложки была 0,30 мм, а пленки для покрытия DLC — 7 мкм.

Твердость, измеренная наноиндентором на Al-подложке, составляла по Виккеру Hv 20–50, пленки DLC — Hv 1700–2000. После подготовки пленок из волокон DLC производилось их ламинирование с использованием фенол-резинового связующего, далее прессование блока DLC при давлении 30 Мпа, его спекание при 120°C в течение 22–25 часов в небольшой печи и разрезание блока DLC на требуемые размеры. Таким образом формировались DLC шлифовальные сегменты (10–15) мм × (3–7) мм × (10–11) мм, которые впоследствии вставлялись в корпус чашечного шлифовального круга и заливались двухкомпонентной эпоксидной смолой, как показано на рис. 7. Большинство алмазоподобных DLC-волокон имели длину >500 мкм, ширину 10–80 мкм и толщину около 7 мкм.

Испытания экспериментального круга производились на прецизионном плоскофрезерном станке с ЧПУ — MG-743 с двигателем главного шпинделя мощностью 0,75 кВт, вращающимся с числом оборотов

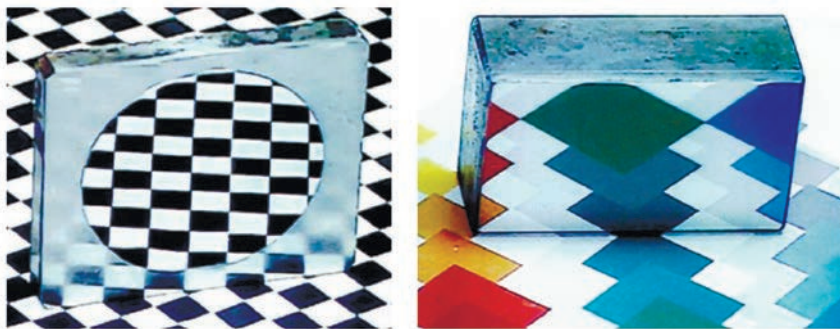


Микроскопическая фотография DLC-пленки

1 — эпоксидная смола; 2 — чашечный корпус круга; 3 — сегменты DLC

Круг из DLC-волокна

Рис. 7. Конструкция и фотография шлифовального круга из DLC-волокна



а) Обрабатываемая деталь — кремниевая пластина

б) Обрабатываемая деталь — сталь SKD11 для штампов

Рис. 8. Фотографии деталей после нанометрового шлифования кругом из DLC-волокна

до 3000 об/мин. Системы подачи станка гарантировали глубину резания не менее 0,2 мкм и скорость возвратно-поступательного движения рабочего стола в диапазоне от 19–169 мм/мин.

Шлифовались заготовки диаметром 75 мм из кремниевых пластин, оптических стекол, кварца, гранита и стали SKD11 для штампов (рис 8). Качество обработанной поверхности проверялось с помощью лазерного интерферометрического микроскопа LIM. В результате было установлено, что показатели поверхности, в частности, кремниевой пластины составляли: шероховатость Ra 2,5 нм, волнистость около 0,7 мкм [6].

ШЛИФОВАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, СОЗДАННЫЕ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Трудно переоценить значение структуры шлифовальных кругов для их производительности и эффективности в процессе шлифования. Структура включает в себя такие характеристики, как размер зерна, плотность зерен, форма зерна и распределение зерен в связке.

По общепринятой международной системе ранжирования, предложенной фирмой Norton еще в 1920 г., содержание абразива в круге может изменяться от 62% (нулевая структура) до минимально возможных 2% (структура № 30).

Д.т.н., проф. В. К. Старков [7] впервые проанализировал составы и свойства шлифовальных кругов, в том числе на экспериментальных образцах вплоть до структуры № 30. Установлено, что применяемые в настоящее время круги из сверхтвердых абразивов изготавливаются на оптимальном минимуме их возможного содержания в объеме инструмента в 12,5–25%, а шлифовальные круги из обычных абразивов почти достигли целесообразного минимума по их содержанию в 22–24% объема.

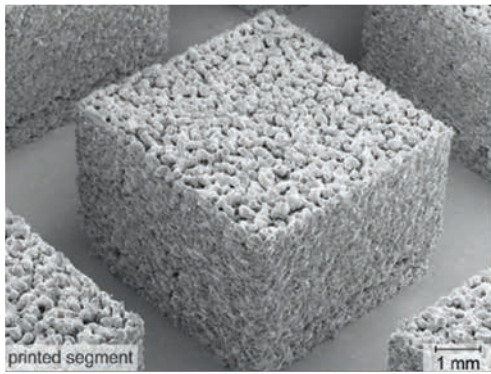
Надо также отметить, что при смешивании абразивной массы невозможно обеспечить однородность распределения в ней абразивных зерен. На рабочей поверхности инструмента они располагаются случайным образом, создавая режущий рельеф с неоднородным распределением режущих кромок по площади и по высоте выступания над ней. При взаимодействии такого рельефа с обрабатываемой поверхностью детали процесс удаления материала приобретает стохастический характер и, соответственно, вызывает проблемы с его управлением на обеспечение заданных требований.

Очевидно, что создание инструмента из сверхтвердых абразивов с повышенной структурностью, формирующей комфортные физические условия стружкообразования в сочетании с упорядоченным распределением режущих зерен на его рабочей поверхности, является перспективным и эффективным направлением совершенствования шлифовальных кругов.

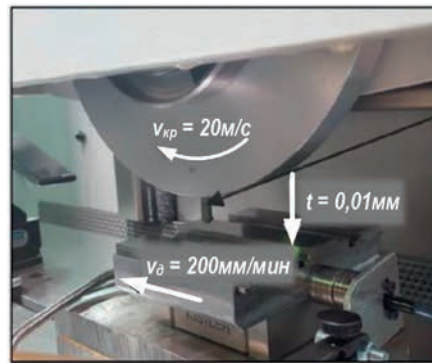
В применяемых для производства шлифовальных кругов лазерных аддитивных технологиях существует целый арсенал технологических методов изготовления кругов.

В ряде применений суперабразивных кругов используется металлическая связка, имеющая более высокие показатели прочности и теплопроводности, чем другие типы связок. Высокая плотность и низкая пористость металлической связки приводят к сравнительно небольшому пространству для размещения и транспортировки смазки, СОЖ и стружки [8]. Свойства этой связки определяются используемыми производственными процессами, такими как пайка или горячее прессование. Обычно они образуют очень плотные слои. Одним из способов устранения этого недостатка является создание полостей в шлифующем слое при использовании технологии лазерного сплавления порошкового слоя (*Laser Powder Bed Fusion — LPBF*).

LPBF — это метод обработки широкого спектра металлических порошков. При использовании этого метода для производства высокопроизводительных шлифовальных кругов необходимо искать такие связующие материалы, которые бы образовывали химическую связь с зерном, и такой материал был найден это NiTi — нитинол, сплав никеля и титана, обладающий уникальными свойствами. Преимуществами нитинола являются высокая прочность, коррозионная стойкость, биосовместимость и термочувствительность. Кроме того, он имеет память формы, то есть может возвращаться к своей первоначальной форме



а) СЭМ печатного сегмента D46 NiTi



б) Экспериментальная установка для испытаний D46 NiTi



Рис. 9. Фото печатного абразивного сегмента и установки для испытаний

после деформации. Но из-за своей высокой пластичности и склонности к наклепу нитинол является труднообрабатываемым материалом. По этой причине для обработки NiTi применяются лазерные методы.

Для исследований использовался волоконный лазер SPI Lasers с максимальной мощностью $P_L = 50$ Вт в режиме непрерывного излучения и длиной волны 1070 нм. Размер фокуса составлял 19 мкм в диаметре, а лазерный луч направлялся гальванометрическим сканером Fa. Scanlab. На рис. 9 показаны микрофотографии печатного сегмента D46 NiTi со сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) и параметры экспериментальной установки.

Для оценки общей пригодности LPBF в сочетании со связкой и алмазными зёрнами были изготовлены образцы шлифовального слоя на никель-титановой связке. Абразивная способность алмазных композитов NiTi, полученных аддитивным способом, была проверена в ходе испытаний на царапание твёрдого сплава с целью определения их применимости в качестве шлифовальных инструментов. Алмазные зёрна в порошковой смеси не являлись частью процесса плавления, они не мешали технологической операции, а испытания на царапание выявили перспективные абразивные свойства композитов. Сам шлифующий слой выдержал технологические силы, и вырова зёрен не наблюдалось. Это указывает на то, что силы удержания зёрна достаточно высоки для процесса шлифования и NiTi имеет высокий потенциал в качестве связующего материала для изготовления шлифовальных инструментов методом LPBF.

В современных алмазных шлифовальных кругах на металлической связке [9] распределение алмазных зёрен носит случайный характер с сегрегацией и агрегированием. Это приводит к тому, что круги имеют плохую морфологию поверхности, низкую эффективность шлифования и короткий срок службы. В результате сегрегации могут образовываться области с более мелкими зёрнами или области с более крупными зёрнами, что может привести к неэффективной обработке поверхности. Агрегирование — это обратный процесс, когда абразивные зёрна одного размера и свойств скапливаются вместе, образуя более крупные кластеры.

Одним из возможных последствий этих явлений является неравномерность обработки поверхности. Из-за различной концентрации зёрен в разных зонах круга скорость удаления материала различна, что приводит к появлению неровностей и перепадов на поверхности. Кроме того, увеличение концентрации зёрен может привести к увеличению температуры в зоне резания и вызвать перегрев материала и его повреждение.

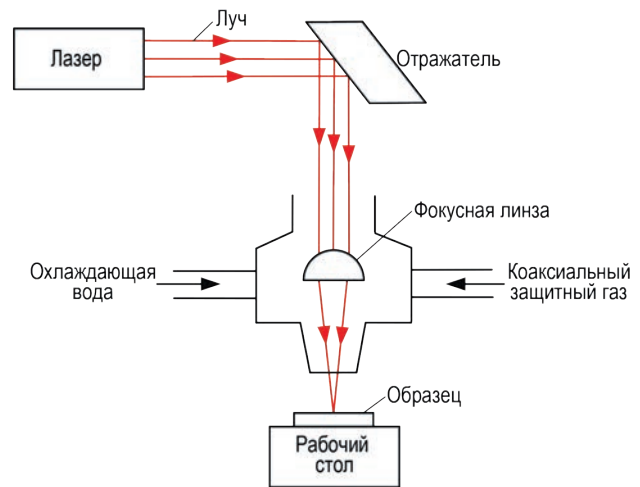


Рис. 10. Схема инструмента для 3D-печати

В работе [9] предложен метод 3D-печати в качестве изготовления чашечных алмазных кругов с равномерно расположенными зёрнами. Схема устройства для 3D-печати показана на рис. 10.

В экспериментах использовались: алмаз зернистостью 300–500 мкм, металлический связующий порошок — сплав $Ni_{75}-Cr_{18}-B_2-Si_5$ собственного производства с температурой плавления 1000–1500°C и корпус инструмента из стали AISI1045 (Ст. 45). Шлифовальный круг представлял собой алмазный чашечный круг, торцевая поверхность которого напечатана на отшлифованной подложке и очищена ультразвуком в ацетоне. Оборудование: лазерный станок с ЧПУ TJ-HL-T5000 с поперечным потоком CO_2 . Начальный режим лазера — TEM00 (поперечное электромагнитное излучение).

3D-печать включала сочетание лазерного спекания и плавления с технологией лазерного быстрого сканирования для получения целевого объекта. Процесс производства алмазного шлифовального круга с равномерным распределением зёрен схематично показан на рис. 11.

Вначале смесь порошка сплава Ni-Cr и алмазных зёрен равномерно распыляли на корпус из стали ASAI 1045 с помощью подающих устройств. Затем на CO_2 -лазерном станке с ЧПУ расплавляли и спекали порошок Ni-Cr с металлической связкой, чтобы продолжить добавление материала по расчетному маршруту (рис. 11а), а алмазные шлифовальные зёрна можно было спекать на сплаве со связкой способом, который жестко контролировался компьютерной программой (рис. 11б). При этом потребляемая мощность составляла 300–500 Вт, скорость ска-

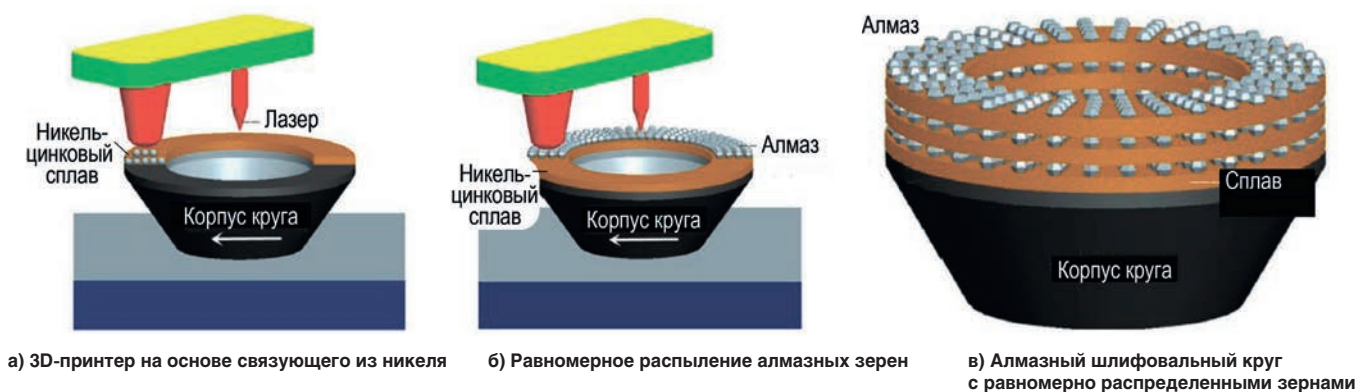


Рис. 11. Процесс 3D-печати алмазного шлифовального круга с равномерно распределенными зёрнами

нирования 25–35 мм/мин, размер луча 3×2 мм. Энергия лазера распределялась в прямоугольной области. Любые дополнительные зёрна удалялись потоком воздуха, в результате чего получался шлифовальный круг с равномерно расположенными алмазными зёрнами. Таким образом, после послойного добавления материалов и охлаждения до твердого состояния был изготовлен многослойный шлифовальный круг с равномерно расположенными зёрнами (рис. 11в).

На рис. 12 показана интегральная морфология 3D-печатного алмазного шлифовального круга, которая описывает форму, размер и распределение зёрен алмаза. Она включает в себя такие параметры, как общая площадь поверхности шлифовального круга, площадь поверхности каждого зёрна алмаза, расстояние между зёрнами и т.д.

В результате проведенных исследований в работе [9] сформулированы следующие выводы:

- С помощью ПО для 3D-фотосъемки, компьютерного управления с использованием 3D-печати, лазерного формования со спеканием и плавлением и динамического точечного сканирования возможно изготовление алмазных шлифовальных кругов с равномерно распределенными зёрнами.

- Для изготовления шлифовальных кругов может быть использована 3D-печать благодаря ее способности контролировать распределение зёрен в трех измерениях и в нескольких слоях, не жертвуя при этом простотой производственного процесса.

- На подготовленном алмазном шлифовальном круге на границе раздела алмазных зёрен было обнаружено соединение CrC, которое может усилить степень сцепления между металлическим связующим и алмазом.

- Подтверждена область диффузионного переноса с хорошей металлургической связью между сплавом и подложкой.

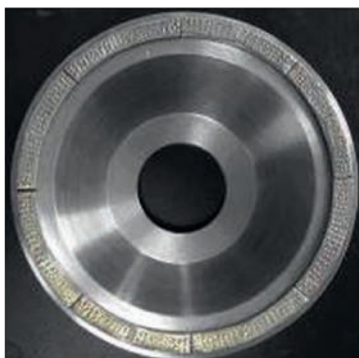


Рис. 12. Интегральная морфология 3D-печатного алмазного шлифовального круга [9]

Рис. 13. Три вида клеточных структур шлифовального круга: а, d) октаэдр; б, е) усеченный октаэдр; с, f) звёздчатый октаэдр

- В испытаниях по шлифованию с высокой нагрузкой на алмазном шлифовальном круге с 3D-печатью не возникало явления выпадения зёрен.

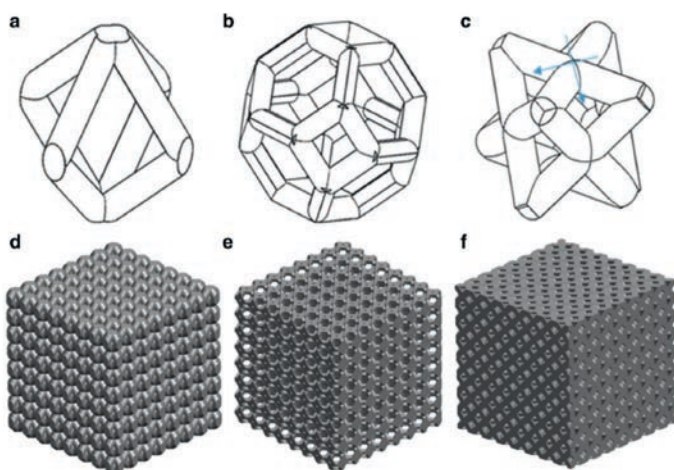
Шлифование кругами на металлической связке в большой степени актуально для обработки керамики из-за ее высокой твердости и хрупкости или никель-хромового сплава — Ni718 (российский аналог — ХН45МВТЮБР), который также трудно шлифуется из-за значительного упрочнения и чрезмерно высокой теплопроводности [10]. Для обработки этих материалов необходимы шлифовальные круги с высокими показателями прочности связки, износостойкости, силы удержания зёрен абразива и длительным эксплуатационным циклом.

В публикации [10] в качестве пористых структур металлической связки шлифовального круга рассматривались ячеистые структуры: октаэдр, усеченный октаэдр и звездчатый октаэдр (рис. 13), изготовленные с помощью селективного лазерного плавления (*Selective Laser Melting* — SLM) со смешанными порошками алмаза/AlSi10Mg.

Пористость может достигать очень высокого уровня за счет изменения диаметра стоек (раскосов) — рис. 13. Однако прочность будет ослаблена, если стойка станет слишком тонкой. Таким образом, значение пористости определяется как проницаемостью, так и механическими свойствами.

SLM широко используется для изготовления деталей из металлов или сплавов как процесс аддитивного производства. С применением процесса SLM также можно изготавливать многофазные композиционные материалы, используя металл в качестве связующей фазы.

Поскольку шлифовальный круг состоит из связки, абразива и пор, материал для создания инструмента с пористой



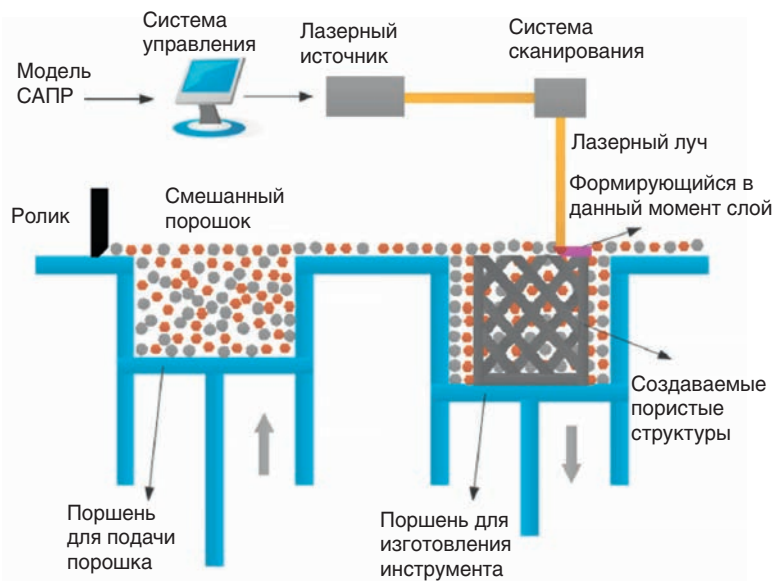


Рис. 14. Схема установки для изготовления шлифовальных кругов пористой структуры на металлической связке с использованием SLM-процесса

структурой состоит из связки сплава AlSi10Mg и алмазного абразивного зерна. Концентрация алмазного абразивного зерна установлена на уровне 60%. Однородно перемешанные порошки хорошо подготавливаются и наносятся на объекты для формирования ячеистых структур с помощью оборудования SLM (AFS-M120, Beijing Longyuan AFS Corporation), схема которого представлена на рис. 14.

В процессе SLM использовался лазер мощностью 300 Вт, скорость сканирования составляла 2,5 м/с, а толщина слоя — 30 мкм. Смешанные порошки и принцип изготовления изображены на рис. 15. Как показано на рис. 15а и б, смешанные порошки состоят из алмазных абразивных зерен с объемной долей 15% и порошков сплава AlSi10Mg с объемной долей 85% [11]. Алмазное абразивное зерно имеет неправильную форму усеченного октаэдра с размером частиц от 62 до 75 мкм, а порошок сплава AlSi10Mg имеет глобулярную форму с размером частиц от 15 до 53 мкм. Принцип SLM изображен на рис. 15в. Лазерный луч используется для формирования связующего материала для шлифовального круга. Порошок сплава AlSi10Mg расплавлялся как связующая фаза в процессе SLM, а затем застывал в качестве связки шлифовально-

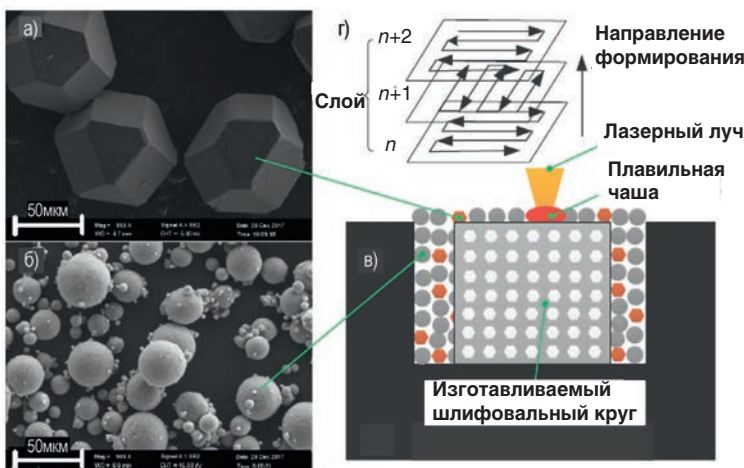


Рис. 15. Смешанные порошки и принцип процесса SLM: а) алмазное абразивное зерно; б) порошок из сплава AlSi10Mg; в) принцип SLM; г) схема лазерного сканирования.

го круга, в то время как алмазное абразивное зерно не плавилось из-за чрезвычайно высокой температуры плавления. Образующийся материал можно рассматривать как металлматричный композит. Стратегия сканирования кистью использовалась в качестве шаблона лазерного сканирования в процессе SLM, показанного на рис. 15 г.

При испытании на проницаемость определялся коэффициент проницаемости как величина, характеризующая способность материала пропускать через себя различные вещества (газы, жидкости) или звуки. При этом выбирались по три образца каждой клеточной структуры, и каждый замер повторяли три раза. На рис. 16 представлены результаты испытаний при одинаковой заданной пористости 53%: проницаемость октаэдрической структуры являлась лучшей, звездчатого октаэдра — средней, а усеченного октаэдра — худшей. Хорошая проницаемость означает хорошее охлаждение и смазку шлифовального круга, что жизненно важно для процесса шлифования.

Авторы работ [10, 11] отмечают, что шлифовальные круги на металлической связке, изготовленные методом SLM, имеют следующую— кругами:

- Облегчают удаление стружки с поверхности шлифовального круга из-за большого пространства для ее размещения.
- Упрощают процесс правки из-за наличия пор.
- Снижают температуру шлифования из-за хорошей теплопроводности.
- Уменьшают усилие шлифования из-за относительно небольшой площади контакта круга с деталью.

Результаты исследований показывают, что октаэдрическая ячеистая структура обладает наибольшей прочностью и лучшей проницаемостью при одинаковой пористости. Итог: с помощью SLM можно изготовить высокопористый шлифовальный круг на металлической связке с отличной проницаемостью и достаточной прочностью.

В заключение целесообразно отметить ряд преимуществ технологических процессов изготовления шлифовального инструмента с использованием лазера:

- Высокая точность: лазерные методы обладают прецизионностью и позволяют создавать абразивные инстру-

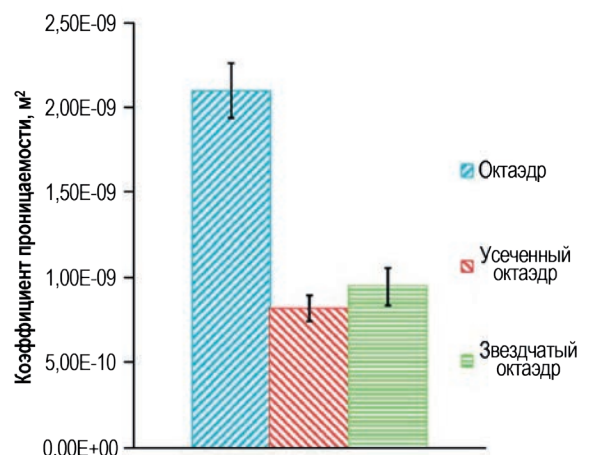


Рис. 16. Сравнение проницаемости трех различных клеточных структур шлифовального круга

менты с высокой степенью точности и сложности режущего рельефа. В этом случае инструменты точно соответствуют техническим требованиям и обеспечивают высокую производительность.

- **Гибкость в проектировании:** лазерная технология позволяет гибко изменять форму, размеры и текстуру абразивного инструмента. Это дает возможность изготавливать инструменты с оптимальными характеристиками для конкретных применений.

- **Высокая производительность:** лазерная модификация режущей поверхности может улучшить производительность инструмента, повысить срок его службы и эффективность.

- **Минимальные деформации и повреждения:** лазерные методы создания абразивных инструментов являются контролируемыми и хорошо управляемыми по сравнению с традиционными методами. Это позволяет минимизировать деформации и повреждения инструмента в процессе его изготовления, что может положительно сказаться на его долговечности и производительности.

- **Экологичность:** лазерные методы не используют вредные химические вещества и не производят большого количества отходов. Из всех переделов процесса шлифования этап традиционного производства шлифовальных кругов по показателю эквивалентной интенсивности выбросов CO₂ более чем в 30 раз превышает любой другой из составляющих переделов процесса шлифования [12].

- **Автоматизация и повышение эффективности производства:** лазерные методы изготовления могут быть легко автоматизированы, что позволяет увеличить скорость и эффективность процесса производства абразивных инструментов. Это также снижает вероятность ошибок и повышает стабильность качества продукции.

Можно предположить, что и в будущем развитие в области применения лазерных технологий будет направлено на совершенствование управления размерами, формой и пространственным распределением зерен в шлифовальном круге с тем, чтобы сделать этот процесс менее стохастически обусловленным.

Литература

1. Bewilogua K., Hofmann D. History of diamond-like carbon films — From first experiments to worldwide applications // Surface and Coatings Technology. 2014. Т. 242. С. 214–225.
2. Rajak D. K. et al. Diamond-like carbon (DLC) coatings: Classification, properties, and applications // Applied Sciences.— 2021. Т. 11. № 10. С. 44–45.
3. Butler-Smith P. W., Axinte D. A., Daine M. Preferentially oriented diamond micro-arrays: a laser patterning technique and preliminary evaluation of their cutting forces and wear characteristics // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2009. Т. 49. № 15. С. 1175–1184.
4. Butler-Smith P. W., Axinte D. A., Daine M. Ordered diamond micro-arrays for ultra-precision grinding — an evaluation in Ti-6Al-4V // International Journal of Machine Tools and Manufacture.— 2011. Т. 51. № 1. С. 54–66.
5. Pacella M. Pulsed laser ablation (PLA) of ultra-hard structures: generation of damage-tolerant freeform surfaces for advanced machining applications: дис.— University of Nottingham, 2014.
6. Yamaguchi K., Wei Y., Horaguchi I. Development of diamond-like carbon fibre wheel // Precision engineering. 2004. Т. 28. № 4. С. 419–425.
7. Старков В. К. Высокопористый или высокоструктурный инструмент — выбор для высокопроизводительного бездефектного шлифования // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. № 12. С. 1039–1046.
8. Denkena B. et al. Additive manufacturing of metal-bonded grinding tools // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2020. Т. 107. С. 2387–2395.
9. Yang Z. et al. A study on diamond grinding wheels with regular grain distribution using additive manufacturing (AM) technology // Materials & Design. 2016. Т. 104. С. 292–297.
10. Tian C. et al. Porous structure design and fabrication of metal-bonded diamond grinding wheel based on selective laser melting (SLM) // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. Т. 100. С. 1451–1462.
11. Tian C. et al. The effect of porosity on the mechanical property of metal-bonded diamond grinding wheel fabricated by selective laser melting (SLM) // Materials Science and Engineering: A. 2019. Т. 743. С. 697–706.
12. Ермолаев В. К. Устойчивое шлифование // РИТМ машиностроения. 2023. № 4. С. 52–59.

РЕКЛАМА 18+

МашЭкспо Сибирь
МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

26 – 29 МАРТА 2024

ОТРАСЛЕВОЕ СОБЫТИЕ СИБИРИ!

ОРГАНИЗАТОР: ООО «СВК»

СИБИРСКАЯ ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
НОВОСИБИРСК ЭКСПО ЦЕНТР

70 Более 100 производителей и поставщиков оборудования и материалов для металлообработки и сварки

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



ЛИТМАШ



МЕТАЛЛУРГИЯ

**04-06 ИЮНЯ
МОСКВА
РОССИЯ**

2024

Место проведения:



12+

ЛИТМАШ

Международная выставка литейных технологий,
материалов и продукции

МЕТАЛЛУРГИЯ

Международная выставка металлургических технологий,
процессов и металлопродукции

Специальная экспозиция



**ТРУБЫ
РОССИЯ
2024**

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

Металл-Экспо
Тел.: +7 (495) 734-99-66

Экспо-Фьюжн
Тел.: +7 (495) 955 91 99





24-я международная
специализированная
выставка



Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



«Оборудование,
приборы и инструменты
для металлообрабатывающей
промышленности»

МЕТАЛЛОБРАБОТКА

20–24 | 05 | 2024

www.metobr-expo.ru

12+ РЕКЛАМА

65 ЭКСПОЦЕНТР

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ ОПЕРАТОР



МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ



**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ФОРУМ «АРМИЯ-2024»**

**12–18 АВГУСТА
ПАТРИОТ ЭКСПО**

www.rusarmyexpo.ru



ПЕТЕРБУРГСКАЯ
ТЕХНИЧЕСКАЯ
ЯРМАРКА

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

- САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОНГРЕСС
- КОНФЕРЕНЦИЯ «КРЕПЕЖ. КАЧЕСТВО И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»
- БИРЖА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ



24-26

АПРЕЛЯ
2024

КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»
Петербургское шоссе, 64



РЕКЛАМА

+7 921 558 9561 | ptf@ptfair.ru | ptfair.ru

itp-forum.com

X МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФОРУМ
ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ. ПРОИЗВОДСТВО.

**ФРОНТИРНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
БЕСПИЛОТНЫХ
СИСТЕМ**

18-19 2024
АПРЕЛЯ

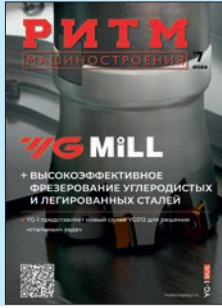
Ярославская область
г. Рыбинск



САТУРН



ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ на 2024 год



РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вы можете оформить подписку на журнал «РИТМ машиностроения» с любого месяца. Стоимость одного номера — 750 рублей, стоимость годовой подписки (7 номеров) — 5250 рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон по адресу: ritm@gardesmesh.com

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»
Юр. адрес: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б
Почт. адрес: 107140, г. Москва,
ул. Верхняя Красносельская,
д. 17А, стр. 1Б, офис 306-1
ИНН 7708266787
КПП 770801001
Р/с 40702810400120033781
ПАО АКБ « АВАНГАРД»
г. Москва
К/с 30101810000000000201
БИК 044525201

Фамилия, имя, отчество (получателя):

Наименование предприятия (организации, фирмы):

Индекс и полный почтовый адрес (получателя):

Юридический адрес (для выставления счета)

ИНН/КПП

Телефон:

E-mail (если он имеется)

Подписка на журнал "РИТМ машиностроения":

номер

год

Подписка на журнал "Аддитивные технологии":

номер

год



Вы можете оформить подписку на журнал «Аддитивные технологии» с любого месяца. Стоимость одного номера — 750 рублей, стоимость годовой подписки (4 номера) — 3000 рублей.

Для выставления счета направьте заполненный купон по адресу: info@additiv-tech.ru



ВЫСТАВКА



21-24 МАЯ

МОСКВА, МВЦ «КРОКУС ЭКСПО»
ПАВИЛЬОН 1

NMF-EXPO.RU

НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТАЛЛО- ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ФОРУМ-2024

МЕЖДУНАРОДНАЯ
СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ
ВЫСТАВКА

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

ONLINE-
METAL
WORKING



РИТМ
МАШИНОСТРОЕНИЯ



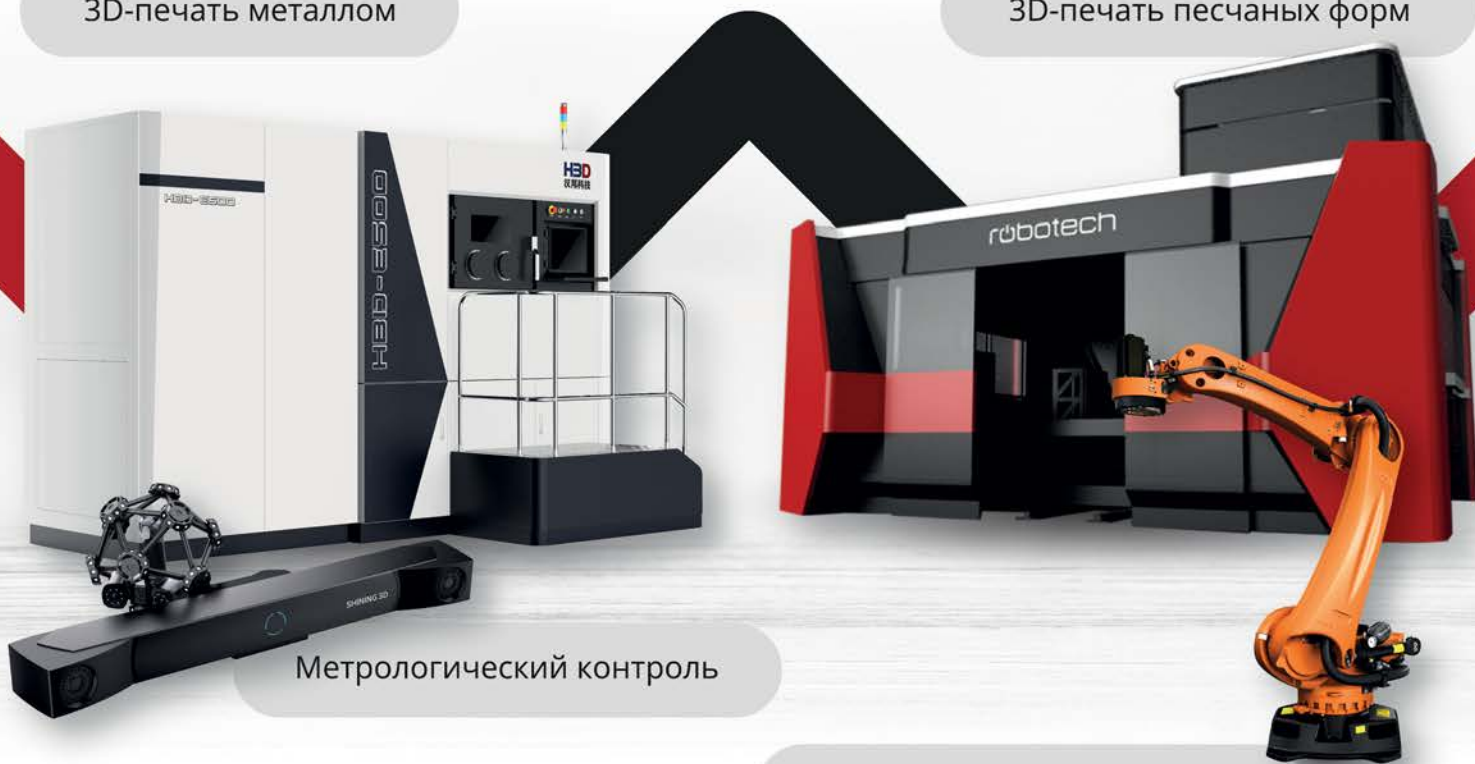


Интегратор
цифровых решений

ИНТЕГРИРУЕМ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО В ВАШЕ ПРОИЗВОДСТВО

3D-печать металлом

3D-печать песчаных форм



Метрологический контроль

Автоматизация производства



+7 (499) 322-23-19



prom@top3dshop.ru



www.top3dshop.ru