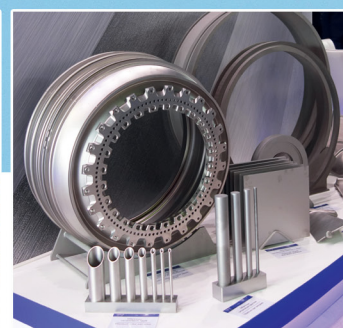
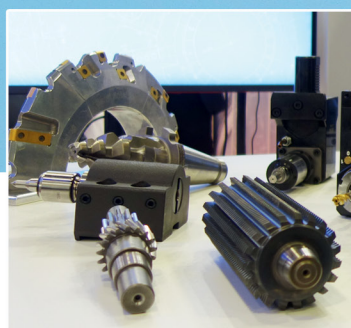
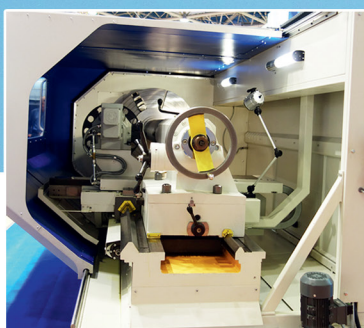


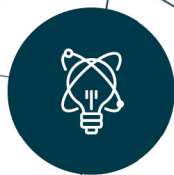
# РИТМ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

'5  
2021



5-8 июля 2021  
МВЦ «ЕКАТЕРИНБУРГ ЭКСПО»,  
ПАВИЛЬОН №3



# ИТАЛИЯ

НА ВЫСТАВКЕ

# ИННОПРОМ 2021

# МНОГОЗАДАЧНЫЙ ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР **ATLAS HYDRO**



## Максимально гибкий и подготовленный к промышленному интернету вещей

Обработка центр может выполнять операции фрезерования, точения и шлифования. Универсальный и высокопроизводительный, он идеально подходит для многих отраслей промышленности.

Станок имеет программное обеспечение промышленного Интернета вещей для контроля производства, дистанционного управления и осуществления превентивного обслуживания.

**Вариант с 3 или 5  
управляемыми осями**

**Вариант с поворотным  
столом и без него**

**Мощность шпинделя  
от 60 до 110 кВт**

**Скорость вращения шпинделя  
2500 ÷ 12000 об/мин**

**Мощность поворотного  
стола 100 ÷ 250 кВт**



Посетите наш сайт

**Иннсе-Берарди Ру**  
125009 Москва,  
ул. Тверская, 20/1  
Тел. +7 495 741 4002  
info@innse-berardi.ru  
www.innse-berardi.com

# СОДЕРЖАНИЕ

8

Лазерная система высокой эффективности /  
High efficiency laser system

12

Модернизация станка – латание дыр на производстве? /  
Modernization of the machine tool – ‘patching holes’ in production?

14

Модернизация машиностроительного производства: экспресс-аудит,  
аудит и инжиниринг / Modernization of machine-building production:  
express-audit, audit and engineering

17

Инновационные продукты: сконструировано и сделано «Пумори» /  
Innovative products: designed and made by Pumori

20

WIDIA представляет серию фрез M8065HD со сменными режущими  
пластинами для тяжелой черновой обработки плоскостей /  
WIDIA introduces M8065HD indexable milling cutters for heavy roughing  
(high metal removal rates) applications in face and shoulder milling

22

Современные российские спектрометры для выплавки металлов и  
входного контроля / Modern Russian Spectrometers for metal melting  
and input control

24

Полимербетон или чугун: кто победит? /  
Polymer concrete or cast iron: who will win?

26

Обработка резанием в условиях дополнительных ограничений со  
стороны клеевых соединений / Cutting process with additional limiting  
factor of adhesive joints

28

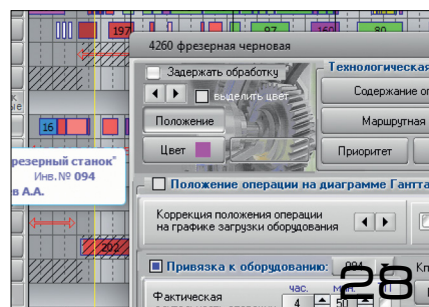
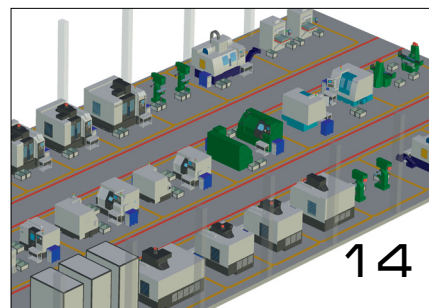
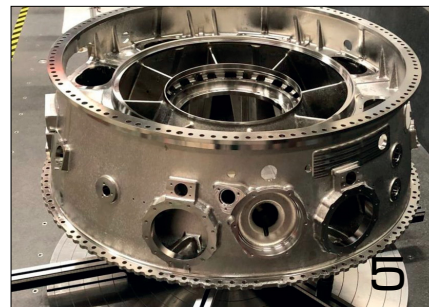
Обеспечение эффективности производства за счет своевременной  
доставки средств технологического оснащения / Timely delivery of  
technological equipment for ensuring production efficiency

32

Моделеориентированность в цифровых трансформациях  
машиностроения (или заложники документоориентированных  
технологий) / Model orientation in Digital Transformation (DT) of  
mechanical engineering (or ‘hostages’ of document-oriented technologies)

39

Метод получения оксиднооксинитридного покрытия /  
Method of oxide-oxynitride coating



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. Ерощкина

консультант В.М. Макаров

consult-ritm@mail.ru

**АДРЕС: 101000, Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 36с, пом. 1**

**т/ф (499) 55-9999-8 (многоканальный)**

**e-mail: ritm@gardesmash.com**

**https://www.ritm-magazine.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")

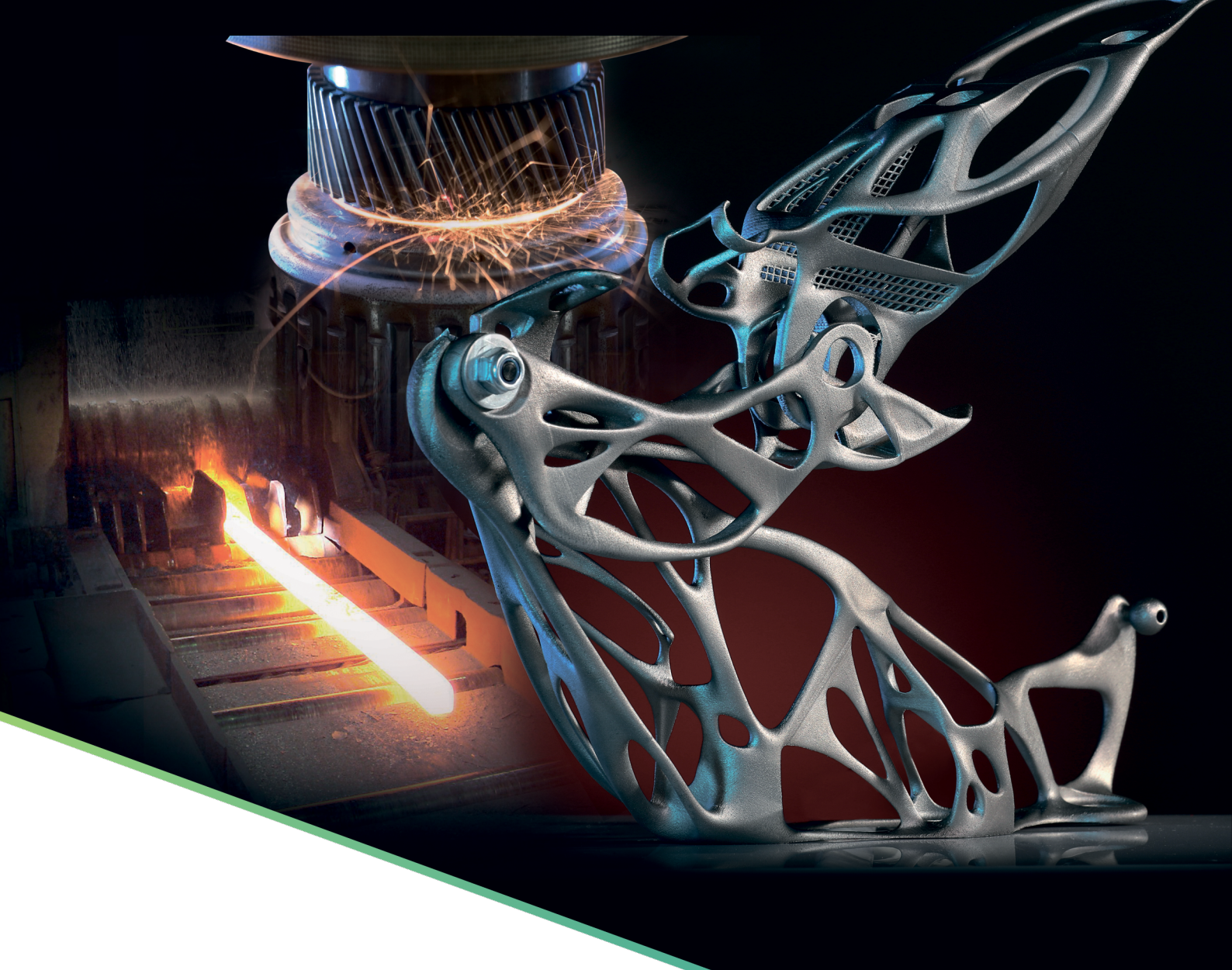
Тираж 10 000 экз.

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.



## Виртуальное моделирование сварки, ОМД, аддитивных технологий

Позволяет с высокой точностью представить физику сложных технологических процессов. Существенно повышает качество изделий и экономит ресурсы

### **Simufact Forming**

Моделирование процессов обработки металлов давлением и термообработки

### **Simufact Welding**

Компьютерное моделирование и оптимизация процессов сварки

### **Simufact Additive**

Моделирование процессов 3D печати, позволяет изготовить деталь с первой попытки

### **MSC Apex | Generative Design**

Генеративный дизайн для аддитивных технологий

[mcssoftware.com/ru](https://mcssoftware.com/ru)



В С Е Г Д А    Н А    В Ы С О Т Е

## МАКС – это ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ!

### Ключевые экспонаты:

- Современные и перспективные самолёты МС-21-310 с двигателем ПД-14, Ил-114-300, SSJ, ЛМС «Байкал»
- Вертолеты Ми-171А3, АНСАТ-М, Ка-32А11М
- Двигатели ПД-35 и ВК-650В

### Разработки российских научных центров:

- Летящая лаборатория для отработки гибридной силовой установки
- Легкий самолет с электрической силовой установкой
- Прототип самолёта укороченного взлёта и посадки

### Глобальные тенденции авиации:

- Электрические и водородные силовые установки
- Коммерческие сверхзвуковые лайнеры
- «Беспилотная революция»

# МАКС 2021

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКИЙ  
САЛОН**

Организаторы



Устроитель



[WWW.AVIASALON.COM](http://WWW.AVIASALON.COM) • 20-25 ИЮЛЯ • ЖУКОВСКИЙ

# АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АВИАСТРОЕНИЯ: ЧТО НОВОГО?

## РАСШИРЕНИЕ СОТРУДНИЧЕСТВА

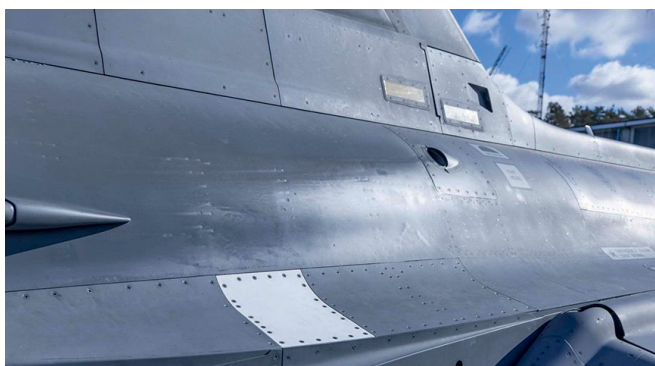


Крупнейший европейский авиапроизводитель продлил контракт со Stratasys на производство полимерных компонентов для интерьеров салонов самолетов с помощью 3D-печати. Компания Stratasys имеет многолетние отношения с крупнейшими игроками рынка и в последние годы перешла к разработке продуктов, специфичных для аэрокосмического сектора, а также к проведению публичной квалификации материалов с национальным центром NCAMP и другими партнерами. В частности, первым аддитивным производственным материалом, получившим NCAMP-сертификат, стал ULTEM 9085, который сыграл значительную роль в развитии сотрудничества между Stratasys и Airbus. Как сообщается, тысячи деталей салона, напечатанных из ULTEM 9085, устанавливаются на модели Airbus A350 XWB. Теперь в дополнение к семейству A350 технология 3D-печати Stratasys будет использоваться для производства компонентов для платформ A300, A330, A340 и A320, а также для технического обслуживания и ремонта.

[www.3dpulse.ru](http://www.3dpulse.ru)

## ТЕСТ ПРОЙДЕН

Шведская военная компания Saab протестировала на своем многоцелевом боевом самолете JAS 39D Gripen деталь, напечатанную на 3D-принтере. Компания отсканировала и напечатала из нейлона PA2200 внешнюю панель для самолета, чтобы продемонстрировать воз-



Белая панель представляет собой заменяемую деталь, напечатанную на 3D-принтере. Фото: Saab.

можность быстрого производства запасных частей для поврежденных в боях машин. Хотя в компании и раньше печатали детали для самолетов на 3D-принтере, это первый раз, когда была выполнена деталь экстерьера.

Предполетные испытания включали анализ прочности, термостойкости и способности оставаться прикрепленной к самолету во время полета. Деталь прошла испытания традиционного режима полета, но не прошла испытания в режиме сверхзвукового полета. Тем не менее группа аддитивного производства Saab считает, что это возможно. Первоначальный осмотр люка после полета, совершенного 19 марта на аэродроме Saab в Линчёпинге, не выявил никаких визуальных структурных изменений.

Задача шведской компании — производить запасные части на месте, независимо от местоположения, путем 3D-сканирования необходимого элемента и его 3D-печати по запросу. Как и многие другие военные поставщики, Saab изучает возможность создания контейнерных 3D-типографий для развертывания на удаленных взлетно-посадочных полосах.

<https://3dprint.com>

## АМБИЦИОЗНЫЙ ПРОЕКТ

В рамках совместного проекта французский разработчик авиационных шасси и тормозных систем SAFRAN LANDING SYSTEMS и SLM SOLUTIONS провели испытания технологии SLM для производства компонента носового шасси для самолета Business Jet. Для этого конструкция устройства была перепроектирована, что позволило сэкономить время на выполнение аддитивного процесса и снизить вес изделия примерно на 15%.



Поскольку к этой детали самолета предъявляются очень жесткие требования (она передает нагрузки от колеса к конструкции самолета), для ее изготовления Safran выбрала титановый сплав. Изготовление конструкции производилось с помощью системы SLM 800 от SLM SOLUTIONS.

Сообщается, что новая конструкция, отвечающая амбициозным целям по снижению сопротивления и массы, уже запатентована.

[www.3dpulse.ru](http://www.3dpulse.ru)

**GE СОКРАЩАЕТ РАСХОДЫ НА 35%**

Для разработки процесса аддитивного производства четырех компонентов системы выпуска воздуха GE Aviation сотрудничала с GE Additive.

Переход к новой технологии занял всего 10 месяцев. Для сравнения — разработка технологии производства традиционных литых аэрокосмических деталей обычно занимает около 12–18 месяцев.



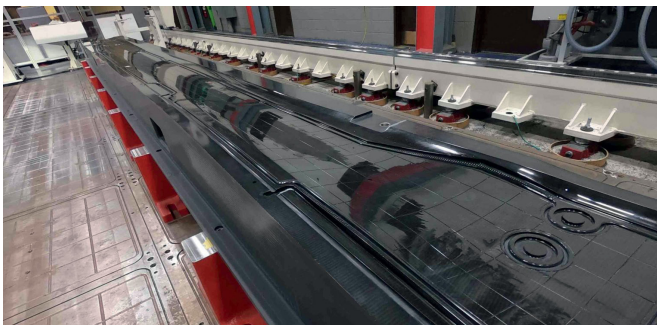
В проекте был использован 3D-принтер Concept Laser M2 Series 5, установленный в GE Additive. Все четыре крышки клапанов для системы стравливания воздуха LM9000 имеют диаметр около 9 см и высоту около 15 см. Все они были напечатаны в рамках одной сборки, а моделирование и анализ показали, что образцы повторяют характеристики литых деталей.

Поскольку рабочий процесс представлял собой простое копирование существующих деталей один к одному, команде удалось добиться быстрого выполнения заказа. Все четыре компонента должны быть установлены на наземный газотурбинный двигатель LM9000, созданный на основе авиационного турбореактивного двигателя GE90.

[www.3dpulse.ru](http://www.3dpulse.ru)

**ФОРМА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАСТИ**

Компания Ingersoll Machine Tools Inc. продолжает демонстрировать возможности применения крупнейшего в мире полимерного 3D-принтера MasterPrint. На этот раз была напечатана 7-метровая вакуумная оснастка-форма, используемая для производства лопастей винта вертолета.



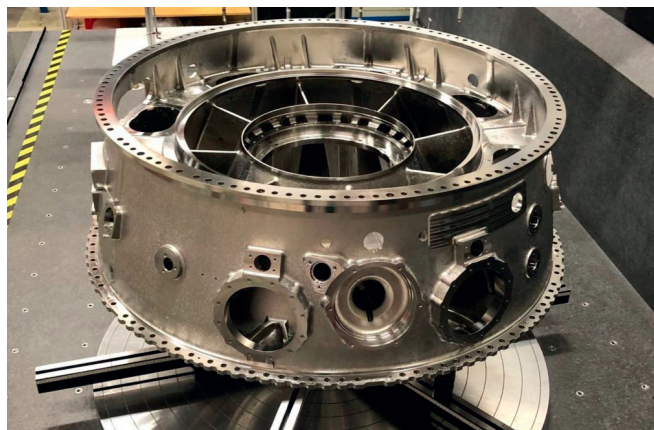
Компания работала вместе с производителем вертолетов Bell Textron Inc. для создания детали, в которой использовался 521 кг АБС-пластика с 20%-м наполнителем из рубленого углеродного волокна. Время непрерывной печати составило 75 часов. После того как пресс-форма была напечатана, MasterPrint переключился на пяти-

осевую фрезерную головку для обработки поверхностей с целью получения необходимых допусков для обеспечения полной герметичности. Фрезерование заняло около недели. Для сравнения: для создания традиционных алюминиевых форм обычно требуется от 4 до 5 месяцев.

<http://3dmag.org/>

**С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПЕЧАТАННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Поставщик аэрокосмической отрасли GKN Aerospace успешно изготовил корпус промежуточного компрессора (ICC), предназначенного для двигателя нового поколения Rolls-Royce UltraFan. ICC был разработан в рамках крупнейшей в Европе программы исследований в области авиации Clean Sky 2, направленной на снижение выбросов CO<sub>2</sub> и уровня шума современных авиационных двигателей. В производстве изделия был задействован целый ряд новых технологий, в т.ч. 3D-печать, с помощью которой выполнены некоторые крепежные металлические детали.



ICC двигателя UltraFan. Фото: GKN.

[www.iba.aero](http://www.iba.aero)

**ДЛЯ ПД-14**

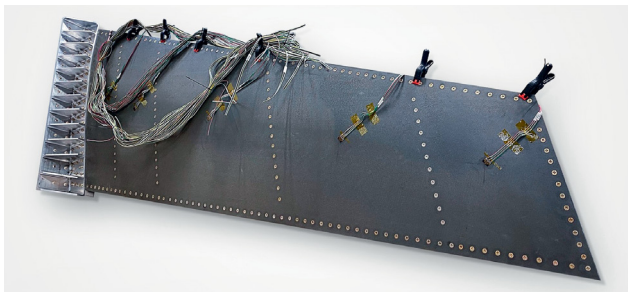
В рамках работ над научным сопровождением создания перспективного российского турбовентиляторного двигателя ПД-14 для среднемагистрального самолета МС-21 специалисты Центрального аэрогидродинамического института (ЦАГИ) изготовили и готовятся испытать аэродинамическую модель мотогондолы двигателя с имитатором реверсивного устройства. При изготовлении модели использовались высокоточные станки, а тонкостенные реверсивные решетки, обеспечивающие разводку реактивной струи, были изготовлены на 3D-принтере по технологии лазерного спекания металлических порошковых материалов.



<https://tsagi.ru/>



## НОВОЕ КРЫЛО



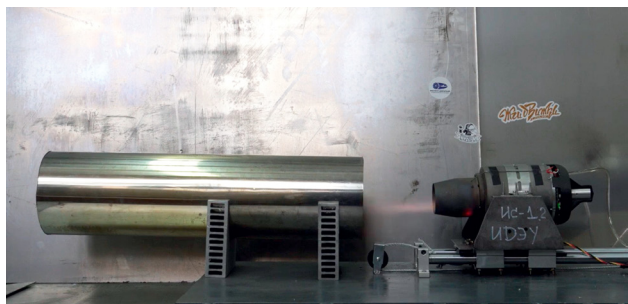
Компания Continuous Composites объявила об окончании двухлетнего контракта (WiSDM) с исследовательской лабораторией ВВС США (AFRL) на проектирование и производство конструкции крыла для недорогих летательных аппаратов (LCAA). Контракт был заключен через Lockheed Martin. Стремясь сократить затраты и время, Continuous Composites использовала свою запатентованную технологию непрерывной трехмерной печати (CF3D) лонжеронов крыла самолета из углеродного волокна. Структурные характеристики изделия были продемонстрированы, когда готовый кессон крыла был подвергнут статическим испытаниям и выдержал 160% расчетной предельной нагрузки. Никаких измеренных или визуальных повреждений на лонжеронах, напечатанных по CF3D®, обнаружено не было.

<https://3dadept.com>

## РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ БЕСПИЛОТНИКОВ

В Самарском национальном исследовательском университете имени академика С. П. Королева прошли успешные испытания малоразмерного газотурбинного двигателя (МГТД), изготовленного с применением аддитивных технологий. Новые методы проектирования и производства позволили сократить сроки разработки и изготовления примерно в два раза.

Двигатель служит прототипом для создания серии силовых установок, способных работать на экологически чистых видах альтернативного топлива.



Входное устройство, компрессор, камера сгорания, турбина и сопло двигателя изготовлены в университетской лаборатории аддитивных технологий на 3D-принтере SLM 280 HL по технологии селективного лазерного сплавления с использованием отечественных металлических порошковых композиций. В ходе испытаний готового образца двигателя были получены следующие технические характеристики: частота вращения — 120000 оборотов в минуту, тяга — 20 кгс.

<https://3dtoday.ru/>

Обзор подготовила Татьяна Карпова

# РОССИЙСКИЕ СТАНКИ для прецизионной лазерной резки, сверления отверстий и скрайбирования



## серия МЛП1

- Высококачественная размерная обработка хрупких, диэлектрических и оптически прозрачных материалов
- Прецизионный стол на базе гранитного основания
- Оснащается различными типами лазеров: UV, CO<sub>2</sub> и др.
- Линейные двигатели с немагнитным якорем повышенной точности
- Возможность оснащения дополнительными устройствами фиксации и крепления
- Обработываемые материалы: поликор, керамика, кварцевое стекло, кристаллы, композитные материалы, корунды, ситалл и др.



ГРУППА КОМПАНИЙ

**ЛАЗЕРЫ  
И АППАРАТУРА**

- 25 лет на рынке
- Серийные комплектации и заказные разработки
- ПНР и сервисное обслуживание (дистанционно и с выездом к заказчику)

## ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Новая универсальная машина лазерной обработки FC-CPM от компании НТО «ИРЭ-Полюс» — это универсальная система станочного типа для обработки деталей — тел вращения. Модульная конструкция координатной системы и широкий выбор съемных навесных элементов крепления заготовок дают возможность для каждого заказчика создать уникальную конфигурацию станка под лазерную сварку, наплавку или термообработку, а высокоэффективный волоконный лазер IPG не требует технического обслуживания и позволяет сократить эксплуатационные расходы.



Компоненты системы:

- иттербиевый волоконный лазер YLS с длиной волны излучения 1 мкм и мощностью 2–10 кВт;
- чиллер вода — воздух IPG LC;
- система перемещения: модульная конструкция координатной системы — продольный ход инструмента до 10 м; единый несущий элемент для привода инструмента и крепления деталей; 4 оси синхронного перемещения, 3 оси линейного перемещения инструмента (X, Y, Z) и одна ось вращения детали/заготовки (A); 2 дополнительные оси с ручной механической настройкой наклона/поворота оптической головки (B и C);
- шкаф управления с системой управления на базе контроллера SIEMENS;
- стойка управления: сенсорная HMI-панель SIEMENS и мобильный пульт, элементы управления HMI-панели обладают различным уровнем доступа;

- дополнительные элементы (механизм подачи присадочной проволоки, съемные навесные элементы крепления заготовки);

- оптическая головка серии FLW D30/50.

Программное обеспечение является собственной разработкой.

Система отличается высокой экономической и технологической эффективностью. Ее преимущества:

*при лазерной сварке:*

- экономия времени и электроэнергии: скорость лазерной сварки 1–10 м/мин, сварной шов не требует дополнительной обработки, зона термического влияния лазерной сварки не более 0,5 мм, возможность полной автоматизации (низкая трудоемкость оператора);

- эффективность и гибкость в использовании: наименьший размер сварного шва и зоны термического влияния, высокая повторяемость процесса, быстрая перенастройка при переходе на изготовление нового изделия;

*при лазерной наплавке:*

- высокий коэффициент использования материала: в случае наплавки проволокой — 100% (до 90% при наплавке порошком);

- локальная обработка поверхности, минимальная постобработка, стабильная высота наплавляющего слоя, минимальное перемешивание основного и наплавляемого материала;

- отсутствие деформации изделия в процессе обработки;

*при термоупрочнении:*

- локальный нагрев поверхности — термообработка не всей детали, а ее локальных участков, подверженных износу;

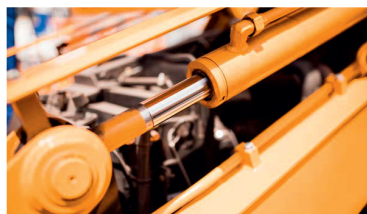
- быстрый термический цикл — высокая скорость нагрева и охлаждения обрабатываемых поверхностей — уменьшение размера зерна материала;

- высокая твердость поверхности и однородность структуры;

- твердость обрабатываемых изделий/участков повышается более чем в 2 раза (толщина слоя 0,5–1,8 мм);

- деформации при лазерном термоупрочнении более чем на порядок меньше, чем при термоупрочнении традиционными способами.

[www.ipgphotonics.com](http://www.ipgphotonics.com)



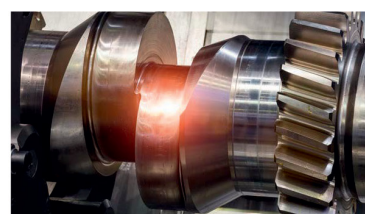
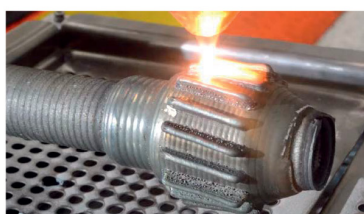
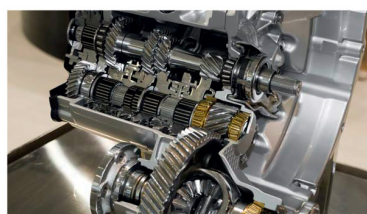
а)



б)



в)



Примеры применения: а) сварка деталей вращения, профильных изделий, валов; б) наплавка валов, наплавка шестерен; в) термоупрочнение резьбы, валов, зубчатых колес



## 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

# ПОЛНОСТЬЮ УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ FL-CPM



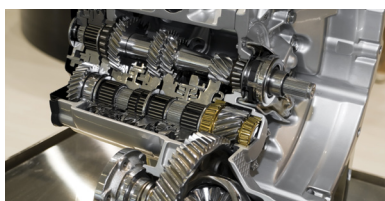
**FL-CPM** – это универсальная многоосевая система станочного типа для обработки деталей – тел вращения. **Модульная конструкция** координатной системы и **широкий выбор** съемных навесных элементов крепления заготовок дают возможность создать вашу **уникальную конфигурацию станка**.



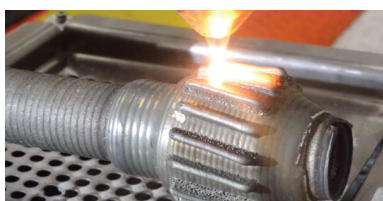
**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР IPG  
ПОЗВОЛЯЕТ СОКРАТИТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ**

## Примеры применений

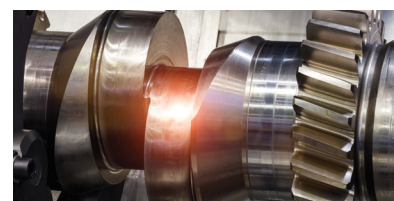
Сварка деталей вращения,  
профильных изделий, валов



Наплавка валов, наплавка  
шестерен



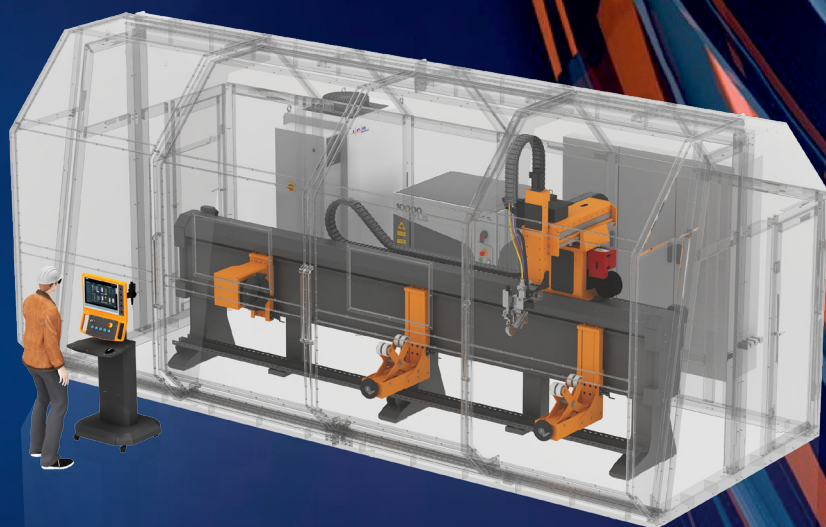
Термоупрочнение резьбы,  
валов, зубчатых колес



# ЛЮБАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ПОД ЛАЗЕРНУЮ СВАРКУ, НАПЛАВКУ ИЛИ ТЕРМООБРАБОТКУ

Система **FL-CPM** обеспечит  
вашему производству  
**высоколиквидный автома-  
тизированный процесс**  
обработки различных  
деталей.

Возможность смены  
оптических голов позволяет  
осуществлять **различные  
техпроцессы на одной  
установке.**



## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ С УДОБНЫМ И ПОНЯТНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

**СВАРКА.** Экономия времени и электроэнергии: скорость лазерной сварки 1–10 м/мин, сварной шов не требует дополнительной обработки, зона термического влияния лазерной сварки не более 0,5 мм, возможность полной автоматизации (низкая трудоемкость оператора). Эффективность и гибкость в использовании: наименьший размер сварного шва и зоны термического влияния, высокая повторяемость процесса, быстрая перенастройка при переходе на изготовление нового изделия.

**НАПЛАВКА.** Высокий коэффициент использования материала: в случае наплавки проволокой – 100% (до 90% при наплавке порошком). Локальная обработка поверхности, минимальная постобработка, стабильная высота наплавляющего слоя, минимальное перемешивание основного и наплавляемого материалов. Отсутствие деформации изделия в процессе обработки.

**ТЕРМОУПРОЧНЕНИЕ.** Локальный нагрев поверхности: термообработка не всей детали, а ее локальных участков, подверженных износу. Быстрый термический цикл: высокая скорость нагрева и охлаждения обрабатываемых поверхностей – уменьшение размера зерна материала. Высокая твердость поверхности и однородность структуры. Твердость обрабатываемых изделий/участков повышается более чем в 2 раза (толщина слоя 0,5–1,8 мм). Деформация при лазерном термоупрочнении более чем на порядок меньше, чем при термоупрочнении традиционными способами.

Подробнее обо всех новинках вы можете узнать у  
наших консультантов по e-mail и телефону:

+7 (496) 255-74-46; sales@ntoire-polus.ru

[www.ipgphotonics.com](http://www.ipgphotonics.com)



# МОДЕРНИЗАЦИЯ СТАНКА — ЛАТАНИЕ ДЫР НА ПРОИЗВОДСТВЕ?

Так получилось, что совместились во времени и пространстве пандемические, экономические и политические события. В данном случае в нашу задачу не входит анализировать, совпали эти события или одни обусловлены другими. Мы только хотим констатировать, что для многих предприятий на фоне этих событий актуализировался вопрос модернизации станочного оборудования. Мы обратились к нескольким экспертам с целью выяснить, насколько модернизация станков экономически целесообразна, все ли виды станков можно (и нужно) модернизировать, как на это смотрят зарубежные производители станков.

## МОДЕРНИЗИРОВАТЬ СТАНКИ ИЛИ ГОТОВИТЬ КАДРЫ?



Первым экспертом, к которому мы обратились, стал Авдим Царфин, генеральный директор завода «Стан-Самара». Кроме того, что завод выпускает координатно-расточные и координатно-шлифовальные станки высокой точности, он занимается модернизацией станков. Несмотря на то, что модернизация является важной составляющей дохода предприятия, Авдим Царфин, как бы это помягче выразиться, беспощаден в оценке этого явления. Но главное, разговор с руководителем «Стан-Самара» выявил еще одну причину, по которой модернизация станков остается в повестке дня: «Действительно, солидный объем работ приходится на капитальный ремонт и модернизацию станков, выпущенных ранее, — подтверждает Царфин. — Новое оборудование российские предприятия покупают неохотно, особенно класса точности «Стан-Самара». Причина в том, что нет специалистов. То есть если на станке класса С должен работать специалист экстра-класса, то это почти всегда означает, что он

с современными системами ЧПУ не работает и работать откажется, потому что ему, как правило, уже около 60, если не больше. Иными словами, за модернизацией станков стоит только нежелание готовить кадры».

Обычно модернизируемые станки снабжают гидравлическими и пневматическими двигателями, системами ЧПУ, программным обеспечением. Насколько это приближает их к уровню новых станков? Авдим Царфин считает, что вовсе не приближает, поскольку не требует новых решений. Да, модернизированный станок дешевле нового, но экономическая выгода, по мнению Авдима Царфина, тоже условна, поскольку слишком велика разница технологического толка: «Я не понимаю людей, которые покупают у кого-то модернизированный станок как новый, когда новый такого типоразмера станок с ЧПУ стоит всего вдвое дороже. Не понимаю. У нас тоже замечательно работает оборудование еще начала 70-х годов, но отремонтировать его я не буду. Как ни «принаряжай» морально изношенные станки, возраст есть возраст. Более того, токарные станки небольших габаритов выгоднее не модернизировать, а выкидывать и покупать новые. Можете расценивать это как рекламу производителей токарных станков — честь и хвала тем, кто остался жив».

Сейчас возможности приобретать зарубежное оборудование подсократились, но, по мнению Авдима Царфина, основные покупатели импортного оборудования этого еще не поняли: «Они продолжают обивать пороги, требовать, доказывать, что им нужны станки только импортные, только с такими характеристиками, каких у нас нет. Но их может не быть и у десятка других зарубежных конкурирующих производителей станков. У нас тоже есть такие параметры, каких нет у импортных. Цель этих действий одна-единственная, — подытоживает Царфин, — купить этот станок у пере-

продавца. Его отношения с перепродавцом я не комментирую».

Наш разговор происходил в третий день выставки «Металлообработка» в «Экспоцентре», и уже появились какие-то наблюдения, которые позволяли бы сделать осторожные прогнозы. Однако Царфин не осторожничал в прогнозах. На вопрос, можно ли ожидать роста спроса на модернизацию, он ответил достаточно категорично: «Обязательно. Наши посетители интересуются модернизацией. Когда спрашиваешь почему, все отвечают одно и то же: нет инвестиционных льгот на новое оборудование. И вторая причина — неизбежный разрыв технологической цепочки».

## ТАКОЙ ТЕМЫ НЕТ



Василий Дианов, генеральный директор компании ООО «Трумф», в ответ на вопрос, как решается вопрос с модернизацией станков TRUMPF, ответил: «С нашим оборудованием модернизации старого оборудования как темы не существует. Точнее, услуга модернизации оборудования у нас есть, но при этом смысл другой. В некоторых случаях

мы, производя станок, изначально закладываем в него некие элементы, называемые подготовкой к последующему расширению его функционала. В первую очередь это автоматизация. То есть если заказчик предполагает, что в будущем ему понадобится автоматизация каких-то процессов — подачи или снятия материала, сортировки деталей, — то это можно не приобретать сразу, а дооснастить впоследствии. Но поскольку станок мы делаем конвейерным способом и по мере производства на конвейере он обрастает «мясом», то внести изменения в конструкцию в будущем может оказаться слишком трудоемким и сложным процессом. Поэтому мы прокладываем заранее некоторые кабели, обеспечиваем возможность подключения сенсорики под будущие шаги по автоматизации. Поставка станка с подготовкой под некий функционал — это один вариант. Второй вариант существует для станков некоторых технологий, когда станок, условно говоря, растет вместе с производством. Это отработанная концепция, которая позволяет за небольшие деньги купить пробивной станок, через год-два дооснастить его лазерной частью, защитой, источником, и он превратится в комбинированный лазер/пресс, то есть, по сути, в два станка. Такие возможности доступны сегодня нашим заказчикам».

Создалось впечатление, что Дианов говорит о станках так, как будто они вечно новые и никогда не старятся. Но ведь наверняка есть российские заказчики, у которых есть долго работающие станки. Неужели никто не спрашивал о модернизации?

«Да, у нас есть станки, работающие у российского заказчика по 20–30 лет, есть станки, наработавшие более 100 тысяч часов и еще, тем не менее, исправно работающие. Но у нас к этому отношение другое, и оно опирается на здравый смысл заказчика. Наши российские заказчики, приезжая на европейское предприятие, обязательно интересуются, как часто предприятие обновляет свой станочный парк. И практически всегда получают ответ, что от 4 до 6 лет. То есть через 4–6 лет уровень техники меняется настолько, что эксплуатировать такой станок не то чтобы экономически невыгодно, а ведет к потере конкурентного преимущества в скорости, в технологичности и «далее по списку». Поэтому такой «рачительный» подход, что вот

у меня есть станок 30–40 лет от роду, я сейчас проведу с ним какие-то манипуляции, повешу на него еще что-то или что-то поменяю и он станет эквивалентным новому станку, нам неведом. В нашей технике такого нет. Представители российских компаний обращались к нам с такими запросами, но мы не поддерживаем диалог на эту тему, мы просто объясняем, почему те или иные шаги невозможны. Например. Производитель сервоприводов не производит их вечно, определенную модель он выпускает не более 5–6 лет. Поэтому поменять один сервопривод на другой может оказаться совершенно неоправданно экономически, хотя отмечу, что это не обязательно так. Станки меняются, меняются подходы к их конструированию. Мы в лазерных станках перешли на полностью модульную конструкцию — имея общую базу, мы меняем модули. Собственно, такие же тенденции существуют в автопроме, они справедливы везде для условно массового продукта».

#### ВЗГЛЯД СО СТОРОНЫ



Для полноты картины нам было важно услышать мнение специалиста, который работает на станкостроительном рынке, но при этом не соприкасается с темой модернизации. Мы обратились к Наталье Ефремовой, директору Центра технологий машиностроения ГК «ФИНВАЛ». По ее мнению, модернизация имеет смысл для определенного рода задач, в частности, в заготовительном производстве, где нет строгих требований к размерам и точности. «Те же 16K20, которые до сих пор доступны в консервации, — развивает свою

мысль Наталья Ефремова, — даже не бывшие в употреблении. Это прекрасное бюджетное решение с учетом того, что состояние нашей экономики не позволяет широко сорить деньгами на оборудование. Простое рассуждение: тебе надо поехать. Если ты не поедешь, ты не решишь свою задачу, которая влияет на результат прямо сейчас. Ждать, пока накопишь на мерседес, или воспользуешься жигулями, которые тебе в данный момент доступны? Именно по этой причине нельзя категорично говорить, что модернизация — путь в никуда или единственно возможный путь. Всегда нужно смотреть по ситуации. Потому что зачастую лучше использовать модернизированное или бывшее в использовании оборудование и работать на новое, чтобы дальше развивать производство, либо закрыть его и убить». На вопрос, можно ли ожидать повышения спроса на модернизацию, у Натальи Ефремовой тоже нет однозначного ответа: «Был период, примерно с 2010 года по 2018–2019 г., когда закупалось очень много оборудования. И в принципе, мы, наверное, подошли к уровню примерного насыщения. Если новое оборудование и нужно, то под вновь возникающие задачи, а основной спектр потребностей уже закрыт».

Мой вывод, что на европейских предприятиях за 5–6 лет происходит смена станочного парка, Наталью Ефремову не смутил: «У нас в России не принято так часто менять оборудование просто потому, что в наших реалиях 5–6 лет — это тот срок, который предприятие ставит себе как срок окупаемости. Максимально допустимый, потому что некоторые предприятия справляются и за два года. Но если оборудование хорошее, качественное, за 5–6 лет не теряет своих потребительских качеств и вполне сможет решать свои задачи. Тут надо смотреть комплексно. Если предприятие не меняет кардинально своих задач, то, наверное, вопрос о замене оборудования тоже особенно не стоит. Но если идет какой-то качественный скачок либо в продукции, либо в каких-то других требованиях, то тогда да».

Страницы нашего журнала открыты для всех, кто хочет высказать свое мнение по теме модернизации станков.

Зинаида Сацкая

# МОДЕРНИЗАЦИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА: ЭКСПРЕСС-АУДИТ, АУДИТ И ИНЖИНИРИНГ

Решение о модернизации производства принимается на основе бизнес-плана. Бизнес-план содержит анализ рынка, планы производства и маркетинга, прогнозные отчеты о прибылях и убытках и о движении денежных средств, прогнозный баланс, расчеты экономических показателей и точку безубыточности по объему продаж, выводы о доходности рассматриваемого производства и его рентабельности. Разработать бизнес-план производства продукции можно только на основе результатов технологического аудита и инжиниринга.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПРЕСС-АУДИТ

Опыт выполненных нами проектов производств показывает, что на заводах часто уже имеются планы капитальных вложений. Это планы внедрения новой техники или модернизации производства. Их разработали в отделах главного технолога, маркетинга, экономического развития и других подобных отделах. Как правило, это не результат технологического аудита, а так называемая «точечная» модернизация (рис. 1), направленная на расшивку «узких» мест, выполненная без системного анализа. Это приводит к неоправданно избыточным капитальным вложениям в несбалансированное производство, не к сокращению, а к увеличению себестоимости продукции. Бессистемная модернизация — часто наблюдаемая картина. Только в последнее время владельцы и руководство предприятий начало осознавать необходимость системного проектного подхода к модернизации производства.

Первый этап технологического аудита, или экспресс-аудит, выполняется по упрощенной схеме. Его цель — уста-

новить технологическую ситуацию, в которой предполагаются капитальные вложения в производство (CAPEX, от англ. «Capital Expenditures»), и величину капитальных вложений. Для расчета CAPEX определяют наличие, техническое состояние, физический и моральный износ основного оборудования, минимальную потребность в оборудовании для создания технологической цепочки. При этом надо не забывать: когда продукцию изготавливают на оборудовании, работающем со времен СССР, увеличить ее конкурентоспособность, т.е. повысить качество и снизить себестоимость возможно только заменой оборудования на новое, обеспечивающее новую технологию.

По результатам экспресс-аудита можно оценить величину капитальных вложений, но не срок их окупаемости. Срок окупаемости рассчитывается с учетом операционных расходов, или OPEX (от англ. «Operating Expenditure»). Для

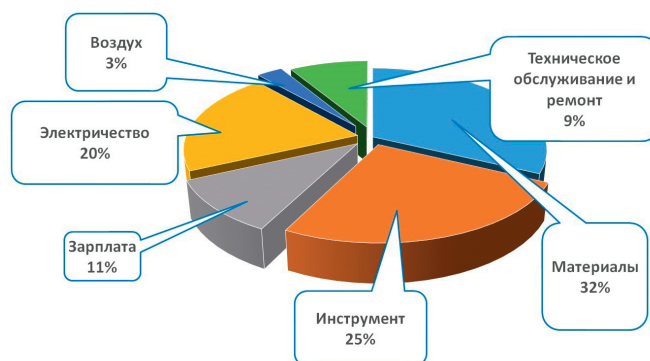


Рис. 2. Типовая структура OPEX машиностроительного производства



Рис. 1. Характеристики и результаты точечной и проектной модернизации машиностроительного производства



машиностроительной компании OPEX включает зарплату, приобретение инструмента, оплату электроэнергии, материалов и комплектующих для изготовления изделий, затраты на производство сжатого воздуха, техническое обслуживание и ремонт оборудования (рис. 2).

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ

Выводы экспресс-аудита — это предварительные выводы, и когда они показывают актуальность проекта, судьба его дальнейшей реализации будет во многом определяться точностью расчета CAPEX и OPEX. Поэтому следующими этапами выполняются подробный технологический аудит и проектирование производства (инжиниринг), оценивающий технологическое оснащение производства, его организационно-технологическую структуру.

Область технологического аудита включает производственные и вспомогательные подразделения, состав технологического оборудования, технологические процессы и систему менеджмента качества.

При выполнении технологического аудита машиностроительного производства нами рассматривается три уровня производительной способности: **1** — устаревший, **2** — фрагментарный, или отрывочный, неполный и **3** — передовой (табл. 1 и рис. 3). Главным отличительным признаком, по которому оценивается уровень производительной способности, является состояние основного



**WEBER**  
ENGINEERING

+7 495 221 1236  
weber-engineering.ru  
project@weber.ru

**КОМПЛЕКСНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



Опыт проектирования промышленных предприятий более 10 лет. В портфеле несколько десятков выполненных проектов, в том числе:

- Производство спецтехники
- Производство погружных нефтяных насосов
- Поточное производство товаров для бизнеса и народного потребления (HVAC, HoReCa, металлические двери, светильники, офисная мебель и т.д.).
- Производство электродвигателей и электрогенераторов
- Производство изделий для подвижного состава
- Производство строительных металлоконструкций
- Создание инструментального производства
- Проекты релокации и компактизации производств

**ООО «Вебер Инжиниринг»**  
Москва, ул. Шарикоподшипниковская, д. 4 (ЦНИИТМАШ)

Таблица 1. Уровень производительной способности и критерии аудита

Критерии аудита	Уровень производительной способности		
	Устаревший	Фрагментарный	Передовой
Стратегия технологического развития	Отсутствует	Краткосрочная. Решения принимаются на основе анализа существующей технологии	Долгосрочная. Формулируется на основе инжиниринговых проектов
Производственная исполнительная система MES (Manufacturing Execution Systems)	Отсутствует	Все процессы объединены в общий информационный поток	Решение задач оперативного планирования и управления производством выполняется специализированными программными комплексами
Основное технологическое оборудование	Произведено в СССР	Частично используется новое технологическое оборудование	Все технологические и логистические операции выполняются на новом автоматизированном и роботизированном оборудовании
Должностные обязанности и задачи сотрудников	Определены частично. Эффективность работы зависит от личности руководителя или группы единомышленников.	Задokumentированы и формализованы	Задokumentированы и формализованы. Проводится анализ их эффективности
Технологичность производимых изделий в соответствии с ГОСТ 14.205-83	Трудоемкость, материалоемкость и энергоемкость изделий не оптимальны	Требования технологичности изделий выполняются частично	Используется комплекс взаимосвязанных действий по обеспечению технологичности всех изделий
Наличие квалифицированных профессиональных кадров	Несколько специалистов	В системе технологического и конструкторского обеспечения производства	Стратегический приоритет
Менеджмент знаний KM (Knowledge Management)	Не используется. Фиксируется и передается только справочная информация	Организовано обучение и повышение квалификации персонала	Внедрена система обмена знаниями
Система контроля качества	Решения принимаются по факту производства бракованных изделий	Внедрен оперативный контроль качества большинства производственных процессов	Сформированы стандарты качества, включающие продукцию, процессы производства, поставки материалов, комплектующих и отзывы потребителей

технологического оборудования. Фрагментарный уровень (рис. 3б) отличается от устаревшего (рис. 3а) использованием оборудования с ЧПУ на отдельных технологических операциях. Как правило, это результат точечной модернизации.

Передовой уровень производительной способности машиностроительного производства характеризует не только автоматизированное и роботизированное оборудование с ЧПУ (рис. 3в), но и модернизация всей системы производства: стратегия технологического развития сформулирована на основе выполненного инжиниринга; производство каждой детали спланировано в соответствии с их серийностью; оперативное управление выполняется и контролируется специализированными компьютерными системами, действуют стандарты качества.

### ИНЖИНИРИНГ

Применительно к проектированию производства инжиниринг (англ. Engineering) — это инженерно-консультационная деятельность, содержанием которой является решение инженерных задач, связанных с созданием или совершенствованием технологических процессов [1]. Предметом инжиниринга является не продукция (конечный результат производства), не проектирование продукции и не ее производство, а интеллектуальный процесс решения инженерных задач, связанных с проектированием и организацией процессов производства продукции.

Инжиниринг выполняют при организации производства новой продукции или для модернизации существующего производства с целью увеличения программы выпуска продукции или освоения новой продукции в дополнение к существующей. Основой успешной модели производства всегда является обоснованный выбор технологического оборудования и расчет его оптимального количества, снижение энергоемкости, материалоемкости и производственного брака, сокращение количества и стоимости инструмента, производственных площадей, других производственных издержек, сокращение фонда оплаты труда, повышение производительности труда и т.п.

Результат, который должен увидеть руководитель производства, представляет собой расчетную себестоимость нового или модернизированного производства, процент снижения незавершенного производства и срок окупаемости затрат на приобретение технологического оснащения. Поэтому, начиная проект модернизации, необходимо оценить капиталовложения,

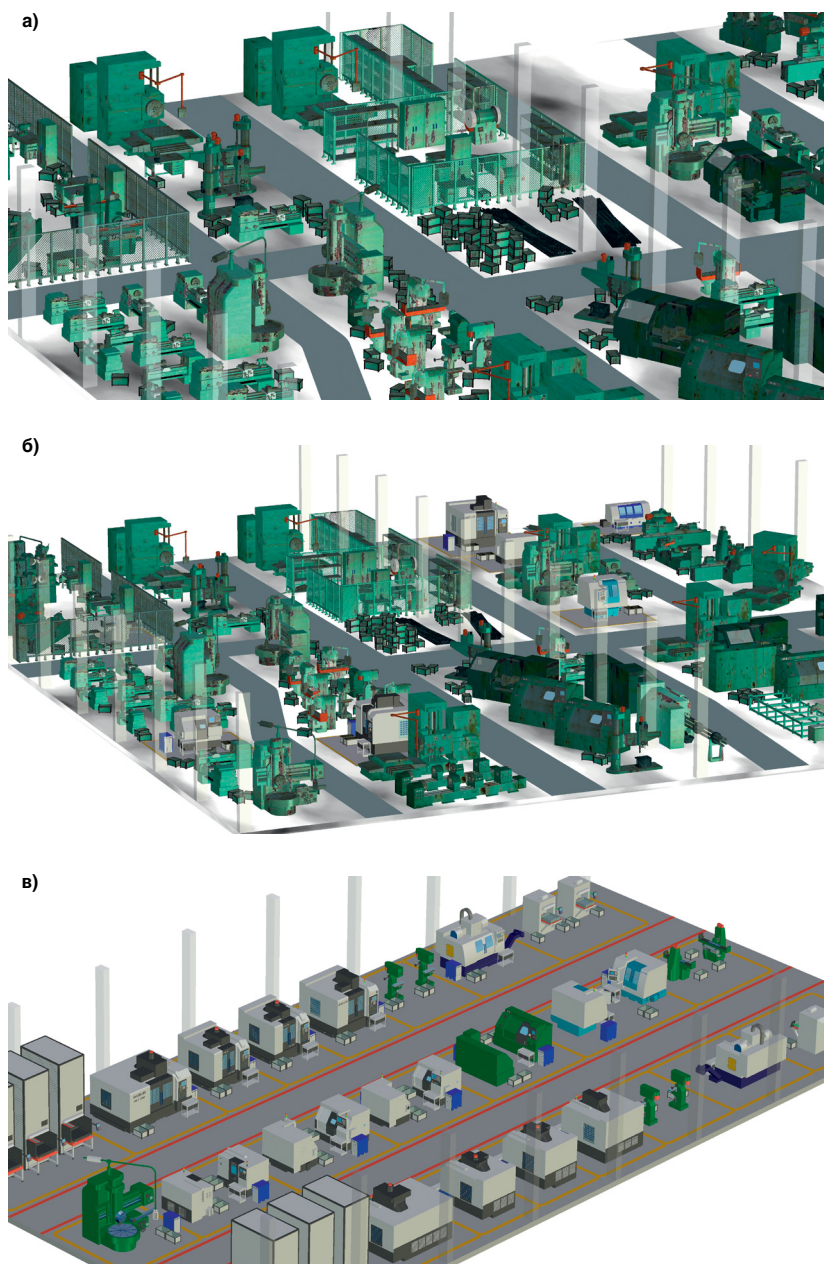


Рис. 3. Планировка цеха устаревшего (а), фрагментарного (б) и передового (в) уровней производительной способности

проведя аудит. По результатам аудита принимается решение о выполнении инжинирингового проекта, в котором кроме уточненных CAPEX и OPEX, необходимых для разработки бизнес-плана, будет содержаться спецификация закупаемого оборудования, его оптимальная планировка в соответствии с технологией и программой производства, логистические решения и другая информация, необходимая для модернизации [2].

**Алексей Хабинович Тлибеков,**  
главный инженер проектов, ООО «Вебер Инжиниринг»  
e-mail: tlibekov@weber.ru

#### Литература

- ГОСТ Р 57306–2016 Инжиниринг. Терминология и основные понятия в области инжиниринга.
- Тлибеков А. Х. Методика и порядок проектирования машиностроительных производств // РИТМ машиностроения. 2019. № 2. С. 24–27.

# ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОДУКТЫ: СКОНСТРУИРОВАНО И СДЕЛАНО «ПУМОРИ»

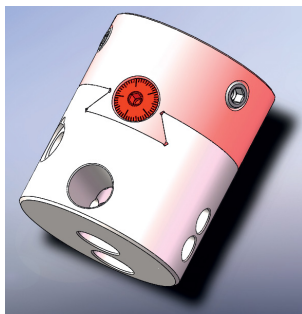
ООО «Уральский завод инструментальных систем» (УЗИС, входит в промышленный холдинг «Корпорация «Пумори») является единственным в России производителем вспомогательного инструмента для оснащения станочного оборудования. Продукция соответствует всем мировым стандартам при более доступной цене и коротком сроке доставки благодаря производству в России. Представляем некоторые уникальные разработки: как новые, так и уже завоевавшие признание.

## Головка малого растачивания — новинка

В мире постоянно растет спрос на высокоточную обработку всё более миниатюрных корпусных деталей современной техники. На «Пумори» сконструирована электронная расточная головка, обеспечивающая диаметр глубокого растачивания 20 мм. Для достижения таких размеров потребовалось внести изменения в конструкцию головки, в частности в механизм перемещения ползуна. Дальнейшее развитие в этом очень перспективном направлении позволит говорить о создании особого нового класса расточных головок.

## Портальная расточная головка — новинка

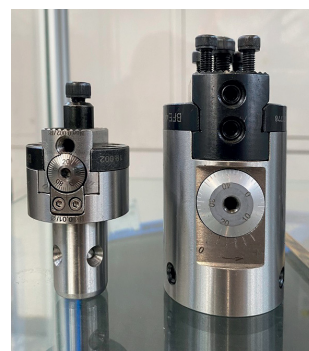
Поиск решений по дальнейшему уменьшению размеров расточных головок привел к созданию расточной головки портального типа. В ее конструкции обычное соединение типа «ласточкин хвост» заменено новым, ранее не применявшимся. Это и другие усовершенствования позволили сделать головку меньше (75 мм), в полтора раза легче (1,4 кг), она стала более жесткой, более сбалансированной, на ее изготовление требуется меньше металла. Наладка осуществляется в два раза быстрее. Малые размеры не помешали оснастить головку встроенной электроникой. Новая головка может применяться как для тяжелой черновой, так и для точной чистовой обработки. Портальная расточная головка совместима практически со всеми типами патронов.



## Безлюфтовая расточная головка

Люфт делает настройку головки более длительным и сложным процессом. Конструкторы УЗИС внесли изменение в конструкцию, позволившее уменьшить люфт при настройке в несколько раз. Это упрощает и ускоряет настройку на размер, а главное — значительно снижает дисбаланс. В результате сокращаются шумы и вибрации, повышается производительность труда и срок службы узлов станка.

## Компактная расточная головка



Изменения, внесенные в конструкцию расточной головки, позволили уменьшить ее размеры. Благодаря этому уменьшен вылет, что позволяет обрабатывать детали увеличенных размеров, и повышена жесткость, чем обеспечивается намного более высокая скорость вращения и лучшая чистота обработки. В отличие от компактных головок других производи-

телей, эта головка — универсальная.

## Расточная головка с гидравлическим зажимом

Гидравлический зажим обеспечивает повышенную прочность закрепления любого осевого инструмента и в значительной мере гасит вибрации при обработке. Кроме того, головка с гидрозажимом не привязана к инструменту конкретной конструкции. Всё это позволяет использовать ее не только для высококачественной расточки, но и для сверления и фрезерования. Гидрозажим располагается в ползуне, долив масла не представляет трудностей.



Не только все ранее купленные резцы и хвостовики «Пумори» совместимы с расточной головкой со встроенным гидравлическим зажимом, но и инструменты других производителей при совпадении диаметра его хвостовика с осевым отверстием цанги головки. Впервые в мире изнашиваемые детали гидрозажима сделаны сменяемыми. Гидрозажимы других производителей неремонтопригодны.

## Внешнее измерительное устройство IS 1000 («Пирамида»)



с точностью до 1 мкм/диаметр; наладки инструмента и станочной оснастки.

Универсальное многофункциональное измерительное устройство для оценки перемещений элементов технологической оснастки позволяет превратить обыкновенную механическую расточную головку в электрическую головку с цифровой индикацией. Устройство легко в использовании. Применяется для: измерения взаимного перемещения металлических элементов с точностью до 0,5 мкм; индикации перемещения инструментальных систем

Корпорация «Пумори»

Тел.: +7 (343) 287-01-10, upk@pumori.ru, <https://www.pumori.ru/>

# НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ HiPACS ОТ KENNAMETAL

Новый инструмент HiPACS от Kennametal за один шаг выполняет сверление и зенкование крепежных отверстий в деталях авиационного назначения. Обеспечивая очень высокую точность отверстий, этот инструмент значительно снижает стоимость операций сверления деталей аэрокосмической отрасли.

Компания Kennametal представляет систему HiPACS для изготовления отверстий с фаской под крепления в деталях авиационно-космического назначения. Новый высокоточный инструмент, выполняющий сверление и зенкование за одну операцию, отвечает строгим требованиям к точности, предъявляемым аэрокосмической отраслью, и отличается высокой стойкостью при обработке элементов самолетов из композитных материалов, титана и алюминия.

«Большинство используемых сегодня инструментов для сверления отверстий под крепеж представляют собой сложные комбинированные системы, изготавливаемые на заказ с длительным сроком выполнения, — утверждает Георг Рот, менеджер по продукции Kennametal. — Система HiPACS состоит из стандартных компонентов и обеспечивает эффективное сверление отверстий по низкой стоимости, при этом сверло и пластина устанавливаются независимо друг от друга. Это единственная на рынке система с индексированной режущей пластиной, формирующая отверстие с фаской под крепления в деталях аэрокосмической отрасли за одну операцию».

Модульная система HiPACS, предназначенная для закрепления в стандартном гидравлическом патроне, состоит из трех легко собирающихся компонентов. Переходная втулка с прецизионным посадочным гнездом под пластину в сочетании со стандартным гидравлическим патроном обеспечивает надежное закрепление и биение в пределах 3 мкм, что значительно повышает срок службы инструмента и качество получаемых отверстий, исключает необходимость в дорогостоящем специальном



В системе HiPACS используются стандартные твердосплавные сверла с покрытием или вставками из PCD

ступенчатом сверле, сокращает производственные расходы и позволяет получить фаску с точностью, соответствующей отраслевым требованиям. Два типа твердосплавных сверл со вставками или с покрытием из PCD охватывают весь спектр обрабатываемых материалов, встречающихся в типовых изделиях аэрокосмической отрасли. Цилиндрический хвостовик обеспечивает регулировку длины в пределах 10 мм.

HiPACS от Kennametal — это экономичная и простая в сборке система, состоящая из трех компонентов: переходной втулки, сменной пластины и цельного твердосплавного сверла. Подходит для использования с любым стандартным гидравлическим патроном.



Новый инструмент для сверления и зенкования HiPACS можно использовать на любом типовом оборудовании, применяемом в аэрокосмической отрасли. Твердосплавные сверла с алмазным покрытием рекомендуется выбирать для особых нежестких условий обработки, например, для робота-манипулятора и сверлильных установок. А сверла со вставками из PCD превосходно работают в стабильных условиях, например, на станках портального типа.

Благодаря стандартному типу крепления система HiPACS может использоваться на любом станке с ЧПУ и подходит для разнообразных вариантов сверления и зенкования.

letyaginam@bk.ru  
+7(495) 411-53-86/87



# АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ В СВОЕЙ СУТИ

## HARVI™ ULTRA 8X

Ti6Al-4V – это конструкционная обработка аэрокосмических компонентов с постоянным сроком службы инструмента один час или более. Инновационная технология винтового фрезерования с 8 режущими кромками на пластину, позволяющая удалять 20 кубических дюймов материала в минуту. HARVI™ Ultra 8X – инструмент, аэрокосмический в своей сути.

## WIDIA ПРЕДСТАВЛЯЕТ СЕРИЮ ФРЕЗ M8065HD СО СМЕННЫМИ РЕЖУЩИМИ ПЛАСТИНАМИ ДЛЯ ТЯЖЁЛОЙ ЧЕРНОВОЙ ОБРАБОТКИ ПЛОСКОСТЕЙ

Новая конструкция фрезы сокращает время на наладку инструментальной сборки и номенклатуру инструмента на складе, позволяя использовать всего один инструмент как для обработки стали, так и для фрезерования чугуна.

Компания WIDIA™ объявляет о выпуске в продажу новой серии фрез со сменными режущими пластинами под названием M8065HD, которая разработана для черновой тяжёлой обработки плоскостей в деталях из стали и чугуна.

Восемь кромок на пластинах в совокупности с широкими карманами для стружки позволяют фрезе работать с большой глубиной резания, достигая высоких темпов снятия металла при обработке плоскостей с низкими затратами на одну режущую кромку

«Обработка плоскостей — одна из наиболее распространённых фрезерных операций, и специально для неё мы разработали универсальное и экономически эффективное решение, обладающее существенными преимуществами в достижении высоких темпов снятия металла при обработке стали и чугуна на предприятиях наших заказчиков, — говорит Кристиан Шнайдер, старший продукт-менеджер WIDIA. — M8065HD — полностью готовое решение для универсального применения в обработке деталей для общего и тяжёлого машиностроения, а также энергетической промышленности. Оно также важно для тех цехов и предприятий, где необходимо снизить номенклатуру

инструмента на складе при сохранении высокой производительности фрезерования».

Фреза M8065HD обладает углом в плане 65 градусов и пластинами толщиной 6,35 мм с универсальной геометрией режущих кромок, которые изготавливаются из трех марок сплавов: WP35CM, WK15CM и WU20PM. WP35CM является первым выбором для фрезерования различных типов углеродистой и легированной стали. WK15CM — отличный выбор для обработки чугунов как без применения СОЖ, так и с её применением. WU20PM является универсальным и подходит для обработки различных материалов: от сталей и чугунов до нержавеющей сталей и жаропрочных сплавов — и доступен в различных сериях новых фрез WIDIA.

Конструкция пластины обладает зачистными фасками шириной 2,37 мм, что обеспечивает как повышенную надёжность и постоянство результатов, так и высокое качество обработанной поверхности.

Корпуса фрезы M8065HD доступны в различных размерах: от диаметра 50 мм до 315 мм.

Приобрести как это новое решение, так и другие инструменты WIDIA можно через авторизованных дистрибьюторов WIDIA в вашем регионе.

<https://www.widia.com>



Фреза M8065HD позволяет достичь высокой производительности при тяжёлом фрезеровании

**WIDIA** 

**ВСЕГДА  
ГОТОВ К  
РАБОТЕ**



 **ALL-STAR**

Инструменты в программе WIDIA™ All-Star находятся на складе и готовы к быстрой отправке на предприятия, обеспечивая универсальность и надёжность в работе на станках. Посетите сайт [widia.com/all-star](http://widia.com/all-star), чтобы узнать подробности.

# СОВРЕМЕННЫЕ РОССИЙСКИЕ СПЕКТРОМЕТРЫ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ МЕТАЛЛОВ И ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ

## В КАКИХ СЛУЧАЯХ НЕОБХОДИМ ОПТИЧЕСКИЙ ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРОМЕТР НА ПРЕДПРИЯТИЯХ?

Оптические эмиссионные спектрометры за время менее 1 минуты производят полный точный анализ химического состава металлов. **Стационарные спектрометры** используются там, где необходима максимальная точность анализа, например, в экспресс-лабораториях плавильных цехов для оперативного контроля состава металла в печи. За счет точного анализа можно вести плавку на нижних пределах и экономить дорогостоящие легирующие материалы. Один прибор можно откалибровать на анализ многих материалов, например, металлов и сплавов на основе Fe (различные марки стали и чугунов), Al, Ni, Cu, Ti, Pb и других элементов, при этом определяются все необходимые элементы независимо от их атомного веса, в том числе C, S, P. **Мобильные эмиссионные спектрометры** обычно применяют для оперативного контроля закупаемого металла с целью подтверждения сертификата, для разбраковки металлоотходов или сортировки обезличенного металла непосредственно на месте его расположения, а также определения марки металла в деталях или готовых изделиях без отрезания образца.

## СОВРЕМЕННЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ НА ПЗС-ЛИНЕЙКАХ

Наибольшей популярностью на рынке аналитического оборудования пользуются спектрометры с твердотельными приемниками света—приборами с зарядовой связью (ПЗС-линейки). Их применение позволило: 1) резко сократить габариты спектрометров, 2) анализировать на одном приборе все металлы и сплавы, необходимые на предприятии, 3) уменьшить стоимость спектрометра.

В качестве примера **современного стационарного оптического эмиссионного спектрометра** можно указать активно востребованный на рынке спектрометр MCA II V5, выпускаемый ООО «Спектральная лаборатория». Это



небольшой настольный, экономичный в эксплуатации, но наиболее точный оптический эмиссионный спектрометр. Он предназначен для точного экспресс-анализа химического состава любых металлов, сплавов как при технологическом процессе выплавки металла, так и анализе готовой продукции на металлургических производствах, а также входном контроле марочного состава деталей, изделий в машиностроении и других отраслях. Количество одновременно определяемых элементов не ограничено. Диапазоны концентраций элементов от десятитысячных долей процента до 40–50%. К апрелю 2021 г. выпущено более 240 спектрометров серии MCA. Гарантия 2 года, при этом встроенный контроллер обеспечивает оптимальный расход аргона и гарантирует низкую стоимость эксплуатации.

По заказу этот спектрометр может комплектоваться пистолетом на длинном кабеле и столиком на колесах, для анализа крупных деталей, отливок, изделий без отрезания образца. **Это первый российский оптический спектрометр с возможностью термостабилизации оптики, с корректором мощности, что позволяет использовать его в реальных заводских условиях с «плавающим» электропитанием и изменениями температуры воздуха.**

Опционно может поставляться спектрометр с дополнительным воздушным штативом **для анализа порошков, руд, зол и других сыпучих материалов.**

Вы также можете заказать нам вариант «Гибрид» спектрометра MCA II V5, в котором обычный аргоновый столик дополняется пистолетом на длинном кабеле, с помощью которого вы можете анализировать крупногабаритные детали, поковки, отливки без отрезания образца.



На ПЗС-линейках сконструирован также и первый **российский мобильный эмиссионный спектрометр «Минилаб СЛ»**, который определяет марку и состав металла прямо на месте его расположения, без отрезания образца.



Спектрометр легко передвигается по цеху или складу, имеет пистолет на гибком 3-метровом кабеле, снабжен системой автономного электропитания.

Все спектрометры внесены в государственный реестр средств измерений.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ЛАБОРАТОРИИ**

Для полноценной работы в лаборатории необходимо иметь станки для подготовки поверхности проб с абразивными камнями или специализированный фрезерный станок

СПП-30 от ООО «Спектральная лаборатория». Для обеспечения гарантированного качества аргона, которым продуваются разрядные камеры спектрометров, ООО «Спектральная лаборатория» выпускает уникальные многоступенчатые стенды очистки и осушки аргона «Эпишур-А СЛ», которые можно использовать и для любых спектрометров, а также в других технологических процессах. Вы можете по своему выбору комплектовать спектральную лабораторию у одного производителя всего спектра оборудования, произвести обучение своих со-



трудников работе и обслуживанию приборов, получить постоянную поддержку от разработчиков и аналитиков.

**ПРОГРАММА ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ  
СПЕКТРОМЕТРОВ**

Компания—производитель спектрометров разработала специальную программу поддержки пользователей, которая гарантирует оперативную помощь, поддержку в течение не менее 12 лет, систему «трейд-ин» по замене устаревших спектрометров, льготы по приобретению станков для пробоподготовки, установок очистки аргона, повторному обучению, удаленной поддержке пользователей.

Спектрометры и оборудование ГК «Спектральная лаборатория» обеспечивают реальное импортозамещение, при этом сохраняется точность, надежность оборудования и качественный сервис, как у лучших зарубежных компаний. Для заказа спектрометра и дополнительного оборудования позвоните нам или напишите ваши аналитические задачи, какие металлы вы хотите анализировать, ваши требования и пожелания, и мы поможем вам организовать лабораторию с лучшим оборудованием, которое позволит вам выплавлять металл точно в марку или организовать оперативный входной контроль, резко уменьшить количество брака, сэкономят ваши средства, электроэнергию, рабочее время, поднимет вашу продукцию на новый качественный уровень.

**О.Г. Торонов, к.ф.м.н.,  
Группа компаний «Спектральная лаборатория»  
Тел. (812) 385-14-53, 331-76-57, +7 921-960-76-64.  
195009, г. Санкт-Петербург, а/я 115.  
in@spectr-lab.ru, www.spectr-lab.ru**

**КАЗАНЬ 2021**



**МАШИНОСТРОЕНИЕ  
МЕТАЛЛООБРАБОТКА  
СВАРКА**

**1-3/12**

ОСНОВНЫЕ ЦИФРЫ ВЫСТАВКИ 2019 ГОДА

<b>223 компании</b> <small>из 29 регионов России и 5-ти стран мира</small>	<b>9013 посетителей</b> <small>из 86 городов РФ и 6 стран мира</small>	<b>4031 кв. м.</b> <small>выставочной площади</small>
---	---	--

21-я международная специализированная выставка  
ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИБОРОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ,  
МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ И СВАРОЧНОЙ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Оргкомитет выставки**  
Тел/факс: (843) 202-29-03  
Россия, 420059, г. Казань,  
Оренбургский тракт, д. 8,  
ОАО «Казанская ярмарка»  
[www.expomach.expokazan.ru](http://www.expomach.expokazan.ru)  
E-mail: [expo-kazan@mail.ru](mailto:expo-kazan@mail.ru)

**Место проведения:**  
МВЦ «Казань Экспо»



Забронировать  
стенд

16+



# ПОЛИМЕРБЕТОН ИЛИ ЧУГУН: КТО ПОБЕДИТ?

ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ УВЕРЕННО ШАГАЮТ ВПЕРЁД, НО КТО-ТО ЕЩЁ ПРОСТО НЕ ЗНАЕТ О ТОМ, ЧТО ЖЕ ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ПОЛИМЕРБЕТОН И ЧЕМ ОН ЛУЧШЕ ЧУГУНА. ДАВАЙТЕ СРАВНИМ ЕГО С ЧУГУНОМ И ОПРЕДЕЛИМ ЕГО ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА СТАНИН ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ.

Минеральное литьё в народе называют весьма по-разному: искусственный гранит, полимербетон, синтегран, синтетический камень и так далее. Но мы будем называть всё это минеральным литьём, поскольку это общее, объединяющее понятие для всего перечисленного.

Тема нашей статьи — отличие старых добрых чугунных станин от новых станин из минерального литья. Она для тех, кто хочет приобрести станок с ЧПУ по металлу, но его пугает новый неизведанный материал «полимербетон», или для тех, кто хочет узнать что-то новое о мире станков из полимера. Итак, начнём.

## ПОЧЕМУ ЧУГУН?

Чугунная промышленность развита давно и во множестве стран. Конкуренция давно свела оптово-розничные цены к несократимому минимуму, поэтому чугун относительно недорог.

Исторически чугун был выбран для станков среди всех доступных материалов неслучайно. Он значительно выигрывал у сплавов меди и железа по устойчивости к вибрации и жёсткости. Альтернативой по таким характеристикам был лишь натуральный камень, но его хрупкость, сложность обработки и сопряжения каменных и металлических деталей станков не позволили успешно развивать это направление. В XIX веке в Европе появилась литая сталь, но и тогда, и сейчас типы сталей, подходящие для станин станков, стоили и стоят дороже чугуна.

Поэтому все технологические линии, относящиеся к производству чугуна, за пятьсот лет индустриального развития довели до совершенства, все доступные типы этого сплава были исследованы и разработаны. Королём станин стал чугун — не из-за какого-то одного наилучшего качества, а по причине удачного соответствия двух характеристик: цены и способности к демпфированию (подавлению колебаний механизмов станка) при должном объёме и массе.

По сравнению со станинами минерального литья чугун более привычен. Однако есть одно «но». Полимеры были впервые синтезированы в XIX веке, разработки наполнителей для полимерных композиционных материалов начались в XX веке, патент на синтегран (синтетический гранит) был опубликован в 1998 году. Развитие технологий минерального литья продолжается ежедневно, и нельзя не принимать это в расчёт.

## МИНЕРАЛЬНОЕ ЛИТЬЁ

Минеральное литьё — это не одна технология, а общее название сотен видов смесей из фракций природных минералов и различных смол.

Различные типы минерального литья отличаются по характеристикам друг от друга не меньше, чем чугун от алюминия. Поэтому нет смысла при сравнении с литьём из чугуна для станин употреблять термин «минеральное литьё». Сравнивать можно только конкретные технологии изготовления, применяющиеся руками конкретных людей.

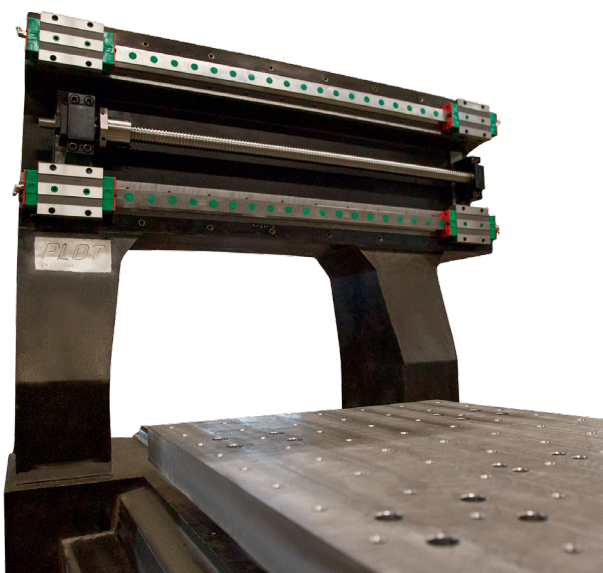
Наполнителями для минерального литья могут быть карбонат кальция, каолин, тальк, металлургические порошки, оксиды сурьмы и алюминия, слюда и асбест, стеклянные, керамические волокна, а также множество других вещей. На данный момент в производстве станин для станков ЧПУ из искусственного гранита лидируют по распространённости кварцевые и гранитные композиты. **Таблица** для сравнения серого чугуна СЧ18, используемого для станин, и видов минерального литья дана ниже.

Интересно, что сегодня минеральные композиты по стоимости примерно равны или ниже, чем литьё из чугуна. Что же остальные характеристики?

Давайте посмотрим, какие из них более важны или менее важны для производственных целей и для вас лично как человека, имеющего дело со станком ЧПУ из полимербетона или чугуна.

Таблица

Характеристика	Серый чугун марки СЧ18	Кварцевое литьё	Гранитное литьё
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	7200	2450–2700	2350–2600
Прочность, Н/мм <sup>2</sup>	изгиб — 300, сжатие — 700	изгиб — 515, удар — 135, сжатие — 2200	изгиб — 134, удар — 61, сжатие — 1921
Шероховатость обработанных поверхностей деталей, Ra	до 3,2	до 1,6	до 2
Температура эксплуатации без критических деформаций геометрии, °С	+23 ±2	от +18 до 28	от +20 до +25
Впитываемость воды по весу, %	0	0,01	0,33



## СПОСОБНОСТЬ ГАСИТЬ ВИБРАЦИИ

Важнейшей характеристикой является виброустойчивость (или демпфирование). Это способность материала станины гасить колебания от работы самого станка.

Момент важный. От него зависит, насколько вибрирует рабочий инструмент (фреза, сверло или резец) относительно заготовки. Точность станка (а если конкретнее, то точность изделий, выпускаемых на станке) напрямую зависит от данного фактора.

Чугун имеет виброустойчивость 10–15%. Показатель гораздо лучше, чем, например, у стали (1–4%) или алюминия (0,1–1%). Минеральное литьё, однако, имеет показатели виброустойчивости примерно в 6–8 раз выше, чем у чугуна.

Непременным спутником вибрации является шум. Больше вибрации — больше шума, больше виброустойчивости — шум станины из гранита снижается.

С точки зрения устойчивости к ударам, изгибам и сжатиям более высокие показатели имеет опять же минеральное литьё, в особенности кварцевое.

**Температурный диапазон** эксплуатации чугуна уже, чем у минерального литья. И если для чугунной ванны изменение на 20 или 50°C не имеет значения, то для точно откалиброванного и настроенного станка точность уменьшается с каждым лишним градусом. Станина минерального литья менее требовательна к комнатной температуре из-за разности показателей температурных деформаций этих материалов.

Практическое освоение минерального литья осуществлялось долгое время. Если взять синтегран (синтетический гранит), то:

- В 1984 году вильнюсский завод шлифмашин отлил из него станину и державки резцов. Помимо других качественных изменений шероховатость поверхности после обработки снизилась в 1,5–1,7 раза.
- В 1993 году проводилось сравнение синтегранового вертикально-фрезерного станка 65Б90ПМФ4 и станка на чугунной станине. Отклонения в вибрации бабки у синтеграна были в 1,6 раза меньше, чем у станка с чугунной станиной, а отклонения в вибрации самой станины — в 2,6 раза.
- В 1993 же году тестировался расточной станок 2754В. Точность обработки на гранитной станине в сравнении с чугунной по основному показателю — круглости отверстий — отличалась в 1,5–2 раза в пользу минерального композита.

**Плотность чугуна** выше, чем у любого минерального сырья: он совершенно негигроскопичен, что положительно влияет на неизменность его характеристик в течение многих лет службы. Еще 16 лет назад минеральные композиты здесь проигрывали.

Ведутся, однако, разработки нового поколения минерального литья в направлении уменьшения в составе доли связующих смол. Они могли бы уменьшить пористость материала.

Наиболее впечатляющими результатами могут похвастаться разработчики кварцевого литья, которые решили использовать в работе разные фракции кварца с размерами частиц от 0,1 до 9 мм. Это дало максимальное заполнение пустот в композите и уменьшение доли эпоксидной смолы до 6–7% и гигроскопичности — до 0,02% веса. В пример можно привести нашу разработку, которую мы серийно выпускаем. Мы поддерживаем именно такие характеристики литья из кварцевого композита.

Кварцевый композит производится в процессе вибропрессования под высоким давлением. Сочетание вибраций и откачивания воздуха из смеси исключают пористость конечного продукта, поскольку все вкрапления воздуха из материала удалены. Также в процессе вибропрессования в состав добавляется кварцевая пудра в заданном количестве — она полностью исключает возможность образования микропустот. Как итог — плотный и твёрдый материал, который полностью устойчив к любым типам загрязнений и к агрессивному химическому воздействию.

Из-за большого количества микропустот в раннем минеральном литье складывалась нездоровая тенденция — отслоение металлических деталей из-за усадки композита после остывания. Однако описанное выше снижение количества эпоксидки до 6–7% и заполнение пустот мелкими фракциями к настоящему времени устранили этот недостаток.

Одной из особенностей чугунной станины, в свою очередь, является необходимость «отстоять» станину в течение нескольких месяцев, а лучше лет, чтобы медленная, почти незаметная усадка чугуна не сбита геометрию станка в процессе эксплуатации.

Это не помешает вам, если вы, покупая станину из чугуна, знаете дату её производства. Проследите за этим.

## ИТОГИ

Что нужно инженеру, который выбирает станок перед покупкой? Станок приобретается для предполагаемой эксплуатации минимум от 15 лет и здесь необходимо принять взвешенное решение и учесть все факторы.

Если не беспокоит шум и вибрация, если производство не требует высокой точности, но хочется иметь вариант станины, проверенный веками, — это, конечно, чугун.

Если важна невысокая стоимость, виброустойчивость и высокая точность обработки — это, конечно, станок на станине из минерального литья — полимербетона.

**Семён Романов, Владимир Васильев**  
 info@plot.website, <https://plot.website>  
 +74953694514

## Литература

1. Кирилин Ю. В. Применение полимербетона для изготовления базовых деталей тяжёлых фрезерных станков: научная работа. 2008. УДК 621. 914.3–181.2.531.
2. Наполнители для полимерных композиционных материалов: справочное пособие / под ред. Г. С. Каца и Д. В. Милевски. Москва: Химия, 1981. УДК 678.046 (031).
3. A study on the epoxy resin concrete for the ultra-precision machine tool bed. Hyun Surk Kim, Kyu Yeol Park and Dai Gil Lee. Dept. Of Precision Engineering and Mechatronics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejeon, Korea, 305–701.
4. Comparison between the dynamical properties of polymer concrete and grey cast iron 2007. F. Cortes, G. Castillo. Department of Mechanical Engineering, Mondragon Unibertsitatea, Loramendi 4, 20500 Mondragon, Spain.
5. Механические свойства полимербетона (EN). Raman Bedi, Rakesh Chandra and S. P. Singh. Department of Mechanical Engineering, Dr. B R Ambedkar National Institute of Technology, Jalandhar 144011, India. Department of Civil Engineering, Dr. B R Ambedkar National Institute of Technology, Jalandhar 144011, India.
6. Применение полимербетона для изготовления базовых деталей для тяжёлых фрезерных станков / Ю. В. Кирилин. УДК 621.914.3–181.2.531.
7. Применение синтеграна в станкостроении / В. Е. Барт, Г. С. Санина, С. А. Шевчук. УДК 621.002.3:678.8.

# ОБРАБОТКА РЕЗАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ СО СТОРОНЫ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА ЗА ПЕРИОД СВОЕГО СУЩЕСТВОВАНИЯ ПРЕТЕРПЕЛА ОГРОМНОЕ КОЛИЧЕСТВО ИЗМЕНЕНИЙ И ПРЕОБРАЗОВАНИЙ, ПРОВЕДЕНО ОГРОМНОЕ КОЛИЧЕСТВО РАЗЛИЧНЫХ ОПЫТОВ И ЭКСПЕРИМЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С ПРИМЕНЯЕМЫМИ КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ. ПРЕЖДЕ ВСЕГО ЭТО, ОБОСНОВАНО СПЕЦИФИКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МИНИМУМЕ ВЕСА — ВОТ ОДНО ИЗ ГЛАВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕРИАЛАМ.

В ракетно-космической технике все большее значение приобретает использование композиционных материалов (КМ) и, в частности, неметаллических на основе полимерной матрицы, армированной углеродными или армидными волокнами. Детали, изготовленные из полимеров, обеспечивают необходимую прочность и жесткость конструкции, обладают малым весом и не подвержены коррозии, а также дают возможность создавать изделия практически любой геометрии. Тем не менее большую часть силовых элементов изготавливают из сплавов алюминия, титана, меди.

В связи с этим возникает необходимость в соединении металлических элементов с композиционными. Помимо механического крепления (в частности, болтового) широкое применение получили клеевые соединения.

Клеи применяют для соединения разнородных материалов, например, склеивание обшивок с сотовым заполнителем в трехслойной силовой оболочке; приклеивание основания солнечных панелей; клеевое соединение алюминиевых силовых элементов с панелями из КМ. Клеи имеют ряд достоинств: равномерное распределение напряжений при склеивании, отсутствие больших остаточных напряжений, высокую прочность при сдвиге.

В новом корабле применяются комбинированные конструкции: сочетание металлических элементов с неметаллическими элементами, соединенными между собой клеевым соединением. В подобных конструкциях для обеспечения технических требований предполагается обработка элементов в составе сборочной единицы.

В фитинге, представленном на **рис. 3**, в соответствии с конструкторской документацией необходимо выполнить отверстие. Данное отверстие будет получено фрезерованием. В связи с этим возникает необходимость

в расчете силовых характеристик процесса резания на стадии проектирования механической операции. Расчет позволит вычислить предполагаемые силы при лезвийной обработке.

Исходя из значения сил и прочности клеювого соединения будет сформирован оптимальный технологический процесс механической обработки данной детали. На основании данного расчета будут скорректированы режимы резания, используемый режущий инструмент, оборудование.

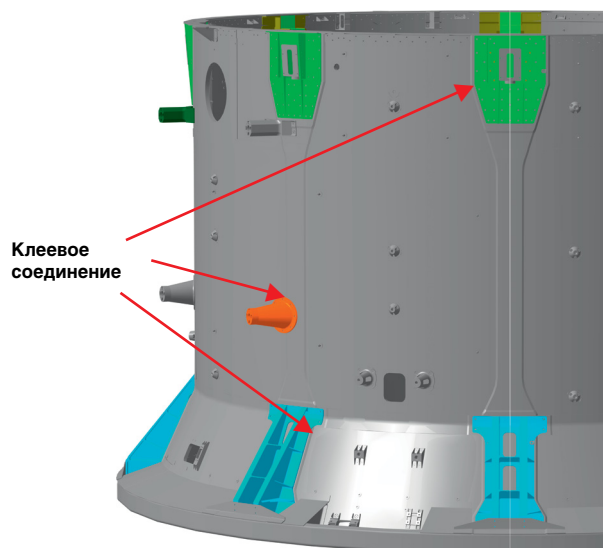


Рис. 2. Элементы корпуса двигателя отсека, установленные с помощью клеювого соединения

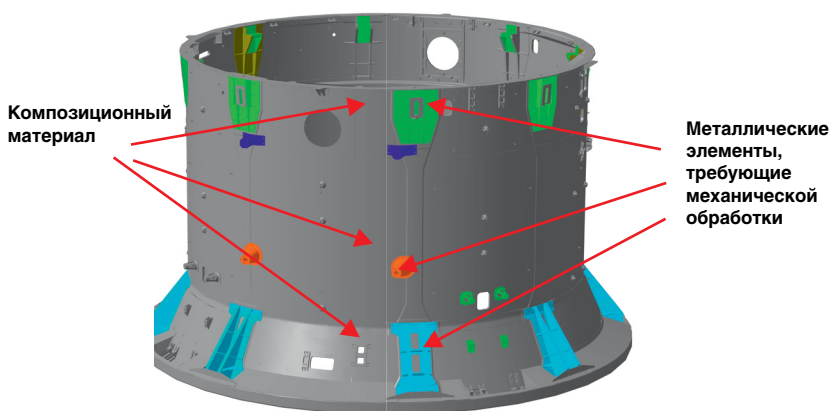


Рис. 1. Корпус двигателя отсека

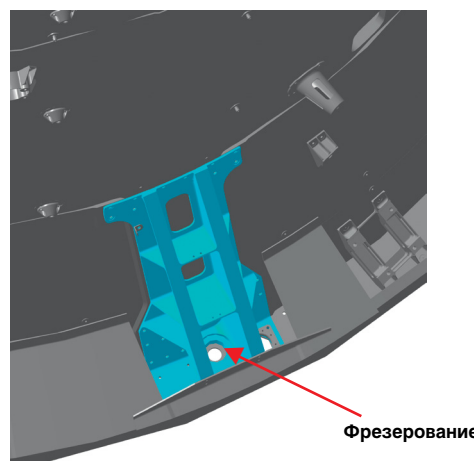


Рис. 3. Элементы в клеенных заготовках, полученные фрезерованием

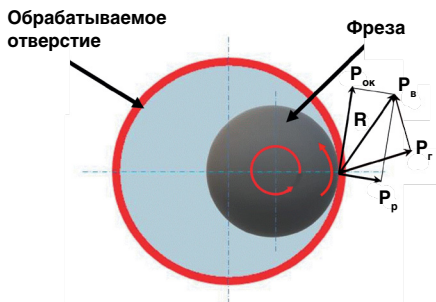


Рис. 4. Эскиз операции с составляющими силы резания, где  $P_{ок}$  — окружная сила, имеет наиболее важное значение, так как производит основную работу резания;  $P_г$  — горизонтальная составляющая сила резания;  $P_в$  — вертикальная составляющая;  $P_р$  — радиальная сила резания.

Пример расчета усилий резания, возникающих при фрезерной обработке.

Исходные данные:

$D = 32$  мм — диаметр фрезы,  
 $z = 2$  — число зубьев фрезы,  
 $a_e = 32$  мм — ширина фрезерования,  
 $S_{мин} = 900$  мм/мин — минутная подача,  
 $n = 4200$  об/мин — частота вращения шпинделя,  
 $m_c = 0,23$  — поправочный коэффициент,  
 $K_{c.1.1} = 830$  Н/мм<sup>2</sup> удельная сила резания для стружки поперечным сечением 1 мм<sup>2</sup>.

1) Рабочее зацепление:

$$y = a_e - \frac{D}{2} = 32 - \frac{32}{2} = 16 \text{ мм}$$

2) Подача на зуб:

$$f_z = \frac{S_{мин}}{z \cdot n} = \frac{900}{2 \cdot 4200} = 0,11 \text{ мм/зуб}$$

3) Средняя толщина стружки:

$$h_m = f_z \cdot \left(\frac{a_e}{D}\right)$$

где:  $f_z$  — подача на зуб, мм;  $a_e$  — ширина резания, мм;  
 $D$  — диаметр резания, мм

$$h_m = 0,11 \cdot \left(\frac{32}{32}\right) = 0,11 \text{ мм}$$

4) Удельная сила резания (удельное давление)

$$K_c = \frac{1 - 0,01 \cdot y}{h_m^{m_c}} \cdot k_{c.1.1} = \frac{1 - 0,01 \cdot 16}{0,11^{0,23}} \cdot 830 = 1158,3 \text{ Н/мм}^2,$$

где:  $y$  — рабочее зацепление, мм  
 $h_m$  — средняя толщина стружки, мм  
 $m_c, k_{c.1.1}$  — коэффициенты (табличные значения).

5) Среднее поперечное сечение срезаемого слоя:

$$F_{cp.} = h_m \cdot \frac{a_e}{2} = 0,11 \cdot 16 = 1,76 \text{ мм}^2$$

6) Окружная сила резания:

$$P_{ок.} = K_c \cdot F_{cp.} = 1158,3 \cdot 1,76 = 2815,3 \text{ Н} = 2,038 \text{ кН}$$

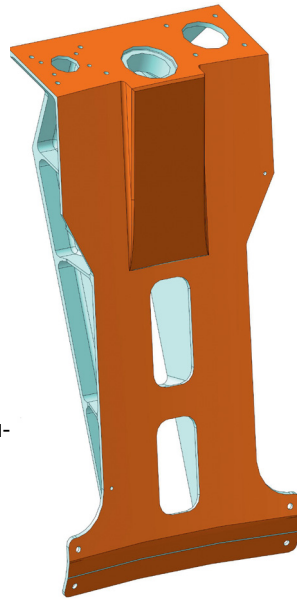
7) Составляющие сил резания:

$$P_г = 1,1 \cdot P_{ок.} = 1,1 \cdot 2,038 = 2,2418 \text{ кН}$$

$$P_в = 0,25 \cdot P_{ок.} = 0,25 \cdot 2,038 = 0,51 \text{ кН}$$

$$P_р = 0,35 \cdot P_{ок.} = 0,35 \cdot 2,038 = 0,71 \text{ кН}$$

Рис. 5. Расчет площади склеиваемой поверхности



Далее необходимо провести расчет предельно допустимых усилий при сдвиге клеевого соединения данного изделия.

Площадь клеевого соединения 2227,054 см<sup>2</sup>.

Данные по прочностным характеристикам для клеевого соединения с применением клея ВК9.

Марка клея	Склеиваемые материалы	Температура испытаний, °С	Предел прочности при сдвиге, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )
ВК9	Углепластик и алюминиевый сплав	20	9,0 (90)

Предельное усилие при сдвиге данного элемента:

$$F_{сдв.} = 90 \cdot 2227,054 = 200434,86 \text{ кг} \cdot \text{с} = 1965586,1 \text{ Н} = 1965,59 \text{ кН}$$

В данном случае из-за большой площади клеевого соединения механическая обработка не оказала влияния на прочность клеевого соединения.

В общем случае необходимо проводить прочностной расчет для клеевых соединений других заготовок, подвергаемых обработке резанием. На основании расчета должен быть оценен запас прочности клеевого соединения и сформирована технологическая операция.

В приведенном выше примере обрабатываются наружные поверхности приклеенных деталей, но в космической технике имеется класс деталей, которые устанавливаются при помощи клеевого соединения внутрь трехслойных композиционных панелей.

Обеспечить механическое крепление не представляется возможным из-за особенности конструкции, прочность закрепления обеспечивается только прочностью клеевого соединения.

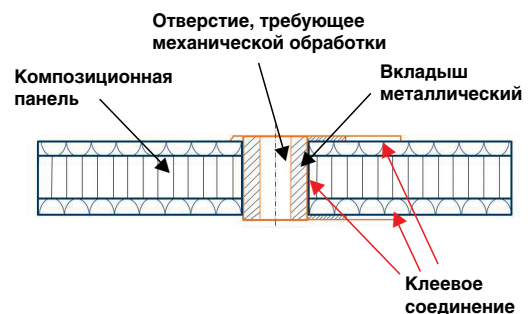


Рис. 6. Втулка, установленная при помощи клеевого соединения в композиционную панель

Данные детали подлежат механической обработке в составе сборки для обеспечения всех технических требований чертежа. В таком случае при разработке КД конструктор должен учитывать прочность клеевого соединения, непосредственно влияющего на технологию механической обработки в сборе, и исходя из этого назначать технические требования на сборочную единицу.

С. Ю. Шачнев, С. А. Солодилов, В. Ю. Калинин  
 ЗАО «Завод экспериментального машиностроения»  
 РКК «ЭНЕРГИЯ»

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЗА СЧЕТ СВОЕВРЕМЕННОЙ ДОСТАВКИ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

*Выигрывает тот, кто синхронизирует темп изменений с темпом приспособлений к изменению.  
Карл Полаanyi*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ MES-СИСТЕМ ПОЗВОЛЯЕТ ОБЕСПЕЧИТЬ ГРАМОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИНСТРУМЕНТООБЕСПЕЧЕНИЕМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ЗНАЧИТЕЛЬНО ЭКОНОМИТЬ ДЕНЕЖНЫЕ СРЕДСТВА КАК В ЕДИНИЧНОМ, ТАК И В МАССОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.

Как известно, наличие требуемого качественного инструмента, подача которого на рабочие места синхронизирована с основным производственным расписанием — это половина успешной работы машиностроительного предприятия. Однако отдельное внимание следует уделить оснастке и так называемому инструменту второго порядка. Технологическая оснастка — это специально разработанные приспособления, служащие для закрепления заготовок при обработке, сборке изделий и других видов работ. Основной задачей оснастки является не только облегчение труда, но и возможность проведения некоторых операций, которые ранее были недоступны из-за особенностей конструкции станка или инструмента [1].

Рассмотрим две группы инструментов.

**Инструмент первого порядка** — это инструмент, благодаря которому производится основная продукция предприятия, в частности, сборочный и режущий инструменты и т.д.

**Инструмент второго порядка** — это вспомогательный инструмент, служащий для изготовления инструмента первого порядка и инструментальной оснастки, шаблонов, мастер-плит, измерительного инструмента и т.д.

Существует очень важная проблема в организации машиностроительного производства — проблема своевременной поставки средств технологического оснащения (СТО) на рабочие места. СТО — это режущий, измерительный, вспомогательный инструмент и приспособления, без которых нельзя выполнить текущую технологическую операцию [2]. На необходимости решения данной проблемы фокусирует внимание современная концепция управления производством, именуемая «бережливым производством» (Lean Manufacturing), в Lean-методологии — 5S — перечень требований к правильной организации рабочего места [3].

Со своевременной и синхронизированной поставкой СТО на рабочие места также связана и Lean-методология SMED — так называемая «быстрая переналадка». Однако, несмотря на известную популярность изложения этой методологии (рис. 1) авторы Lean-концепции не дают конкретных инструментов ее реализации.

В качестве наглядного примера важности 5S и SMED рассмотрим следующую ситуацию.

С трубы сорвало кран, необходимо, используя ключ на восемнадцать, перекрыть воду, а другим ключом на четырнадцать — прикрепить кран. Задача выглядит простой, но ключи хранятся в кладовке. Таким образом, мы теряем время на подготовку к работе, а ситуация требует быстрых действий, так как каждую секунду вытекающая вода будет наносить урон помещению. Если ключ

на восемнадцать, служащий для перекрытия воды, будет храниться рядом с трубой, работа начнется быстрее, но есть один важный момент: это не ускорит проведение всей работы, поскольку второй ключ по-прежнему находится в кладовке. Для ускорения работы нам потребуется хранить оба ключа на месте, однако есть и другой выход: достаточно взять универсальный инструмент, такой как разводной ключ. Он подойдет для проведения двух операций, а его своевременное наличие на рабочем месте значительно ускорит работу.

Конечно, в данном примере мы говорим о некоей абстрактной и аварийной ситуации, но в рамках производства своевременная поставка инструментов и надлежащей технологической оснастки на рабочие места не только облегчает труд и экономит время, а еще и напрямую влияет на себестоимость продукции.

Как известно, до 30% потерь производственного времени в многономенклатурном производстве (мелкосерийного и единичного типов) приходится на простои из-за отсутствия требуемого технологического оснащения на рабочих местах [4, 5]. Держать весь вспомогательный инструмент, метрологическую, сварочную, сборочную оснастку на каждом рабочем месте нерационально, многое из перечисленного требуется крайне редко, хотя порой и востребовано. Кроме того, такое оснащение будет стоить крайне дорого для предприятия. Таким образом, мы сталкиваемся с потребностью в оптимизации потока СТО, которая предполагает два возможных решения:

- Первое подразумевает под собой наличие постоянного запаса технологического оснащения на рабочих местах.
- Второе — это доставка специализированного технологического оснащения по мере необходимости на рабочие места, но заранее.



Рис. 1. Методологии 5S и SMED для своевременной поставки СТО на рабочие места

Оба варианта решения необходимо учитывать при составлении производственного расписания, чтобы на нужные рабочие места поступало требуемое технологическое оснащение. Исполнение указанных решений значительно упрощается при использовании так называемых исполнительных производственных систем (MES-Manufacturing Execution Systems).

Использование MES-систем позволит минимизировать затраты на оснастку и инструмент, учитывая, что оснастка не всегда нужна прямо здесь и прямо сейчас. При рациональном распределении средств технологического оснащения производство не сталкивается с его дефицитом и не несет значительных затрат на его закупку, особенно когда соответствующее СТО в данный момент времени не востребовано на рабочих местах. Положительный эффект также достигается путем сокращения складских площадей, предназначенных для хранения инструмента, а содержание складских запасов стоит далеко не дешево, в том числе из-за особых условий хранения ряда инструментов.

Каким же образом MES-системы позволяют оптимизировать поставку технологического оснащения? Чаще всего в технической литературе встречается такое определение: «MES — это интегрированная система управления производством», то есть это программа для контроля, планирования, анализа и управления производством. MES включает в себя ряд функций, но конкретно для данной статьи наибольший интерес представляют четыре из одиннадцати, именно они непосредственно связаны со своевременной и синхронизированной поставкой средств технологического оснащения на рабочие места, а именно [6]:

### 1. КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСОВ (RAS)

Функция, позволяющая корректно распределять ресурсы. Это своевременная подача полуфабрикатов с учетом габаритов и наименований, определение экономически оправданного выбора технологического оборудования для снижения трудозатрат, подача инструментов и технической документации для выполнения операций. Кроме того, распределение ресурсов также отвечает и за распределение персонала с учетом выполнения вспомогательных задач на рабочих местах.

### 2. ДЕТАЛИЗИРОВАННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ (ODS)

Если рассматривать процесс изготовления каждой детали, мы можем увидеть, что технологический процесс обработки по-своему уникален. Детали имеют свои атрибуты и характеристики, следовательно, возникает потребность в перенастройке оборудования, что приводит к дополнительным затратам. В многономенклатурном производстве невозможно обойтись без перенастроек технологического оборудования и смены технологических баз. Поэтому необходимо рассчитывать время загрузки оборудования с учетом нормативного времени на перенастройку с минимальным количеством. Именно функция ODS позволяет сделать это максимально оперативно и учесть все особенности производства: как ресурсов, так и процесса механической обработки. Современная MES, например, российская си-

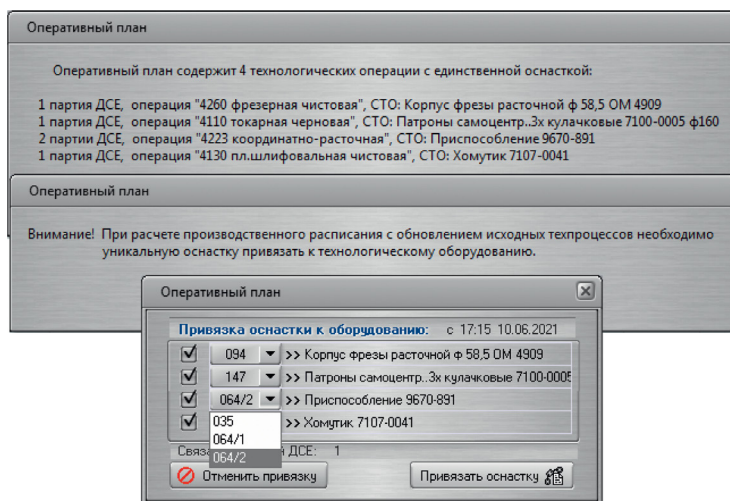


Рис. 2. Интерфейс привязки СТО к технологическому оборудованию (MES «ФОБОС»)

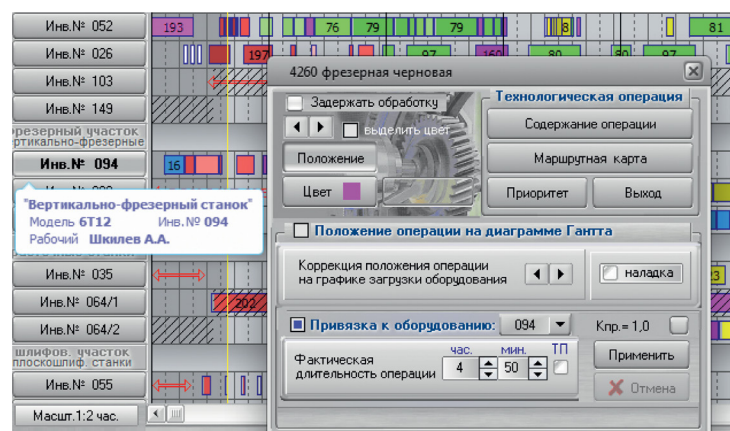


Рис. 3. Привязка СТО к оборудованию с учетом фактического времени обработки

стема «ФОБОС», имеет возможность работать с большим числом критериев для оптимизации производственного расписания. Кроме того, MES в обязательном порядке должна учитывать привязку уникального технологического оснащения к определенным рабочим местам (рис. 2, 3).

### 3. ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ (DPU)

Диспетчеризация обеспечивает оперативное регулирование, то есть проведение работ по предупреждению сбоев и нестандартных ситуаций при уже запущенном производством процессе. При возникновении подобных ситуаций диспетчеризация позволяет принять меры, направленные на скорейшее решение возникших проблем. От этого зависит выполнение задач, поставленных перед производством. Любая MES-система должна иметь функцию DPU. Эта функция позволяет в реальном времени менять производственное расписание в зависимости от текущей ситуации, происходящей на производстве, причем важно изменить расписание таким образом, чтобы минимизировать потери времени.

### 4. УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ (PM)

Функция относится к управлению и контролю в более глобальном плане, чем диспетчерское управление, PM

направлено на контроль хода производства и позволяет его своевременно корректировать. Благодаря этой функции операторы получают информацию о принятых решениях, что позволяет MES-системе совершенствовать управление производственным процессом.

Все перечисленные функции необходимы для своевременной доставки СТО на рабочие места. При стратегическом планировании или при оперативном решении возникшего кризиса MES-система должна быстро отреагировать на потребность производства и так же оперативно предоставить ответ. Система составляет график поставки средств технологического оснащения на рабочие места, что позволяет максимально быстро подготовить производство к запуску и поддерживать эффективность на протяжении всего цикла производства, учесть загрузку рабочих мест и потребность в инструменте на каждом отдельно взятом месте (рис. 4).

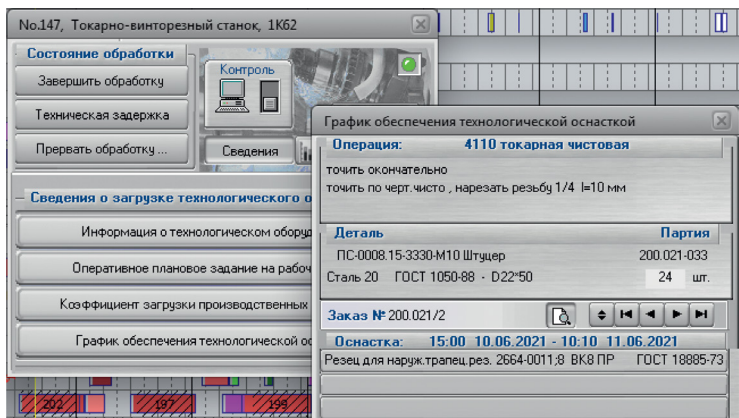
Таким образом, минимизируется время простоев станков, связанных с отсутствием нужного инструмента на рабочем месте. Не наступает дефицит инструмента, но отсутствует и перенасыщение. Необходимо, понимать, что каждый нежелательный простой на производстве находит свое отражение в себестоимости изготавливаемой продукции, грамотное управление инструментальным обеспечением производства позволяет значительно экономить денежные средства, как в единичном, так и в массовом производстве за счет сокращения складских запасов, уменьшения простоев оборудования, поддержания баланса инструментов первого и второго порядка [1, 2].

Отдельного внимания заслуживает вопрос изготовления инструмента второго порядка. Инструментальное производство предприятия должно быстро реагировать на потребности основного производства, особенно в моменты, когда идет смена одного изготавливаемого изделия на другое. Это рождает потребность в новой технологической оснастке и, как следствие, в инструменте второго порядка, т.е. СТО, которые ранее не применялись. MES-система отслеживает и предупреждает такие ситуации, синхронизируя планы работы инструментального производства с основным производством [4, 5].

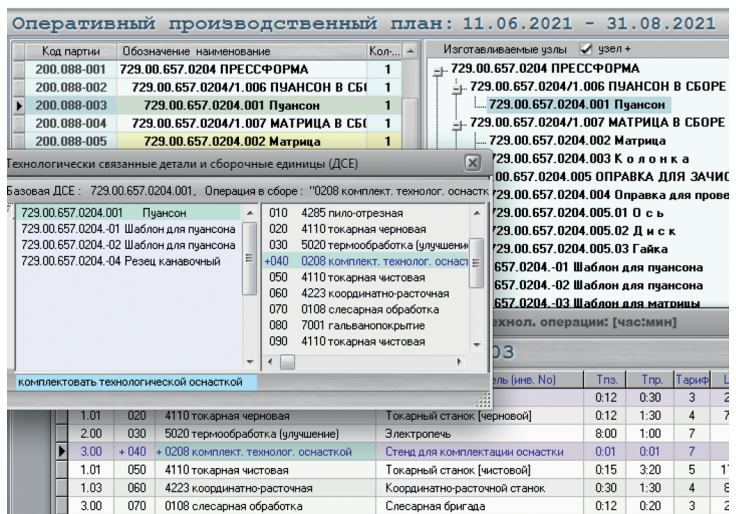
Прогнозирование отсутствия инструментов второго порядка — задача не из легких, так как инструмент второго порядка нужен для создания технологической оснастки, и получается, что для планирования такого рода нужно изначально спланировать изготовление специальной оснастки [2].

Благодаря детальному просчету технологических процессов MES-системы способны предусмотреть эту ситуацию и предложить решение, включив в планирование инструментального производства весь необходимый инструмент. Таким образом, производство готовится заранее и не создаются кризисные ситуации, когда производство останавливается только из-за отсутствия нужного технологического оснащения (рис. 5).

В заключение хотелось бы еще раз затронуть вопрос внедрения Lean-методологий 5S и SMED-концепции бережливого производства, известного во всем мире [3]. Бережливое производство — это в глобальном смысле



**Рис. 4. Пример процедуры синхронного обеспечения технологической оснасткой токарно-винторезного станка (MES «ФОБОС»)**



**Рис. 5. Синхронизация графика изготовления инструмента второго порядка с основным расписанием, составленным средствами MES**

принцип управления предприятием, позволяющий повысить его эффективность путем сокращения потерь. Упомянутые методологии направлены именно на своевременную поставку СТО, в частности, инструмента первого и второго порядка. MES-системы являются средством, которое значительно облегчает решение упомянутых в данной статье организационных проблем. Говоря об инструментальном обеспечении, следует также затронуть вопрос возникновения «узких мест», так как отсутствие нужного количества инструмента порой приводит именно к этому. Узкое место (Bottle-Neck) — это производственный участок или рабочее место, которые не могут своевременно справиться с работой из-за простоев по организационным или техническим причинам, что создает задержку или очередь из обрабатываемых деталей при выполнении производственных заказов. Нельзя оставлять без внимания и тот факт, что при исключении одного узкого места сразу же возникает другое. MES-системы позволяют своевременно находить и анализировать возникновение подобных мест, предлагая надлежащие решения.

Рассмотрим пример наипростейшего производственного маршрута.

Имеется один токарный и один фрезерный станок, которые подают по одной единице продукции (детали или сборочной единице) для обработки отверстий на два координатно-расточных станка, после чего изготовленные



# MES-СИСТЕМА «ФОБОС»

## ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

полуфабрикаты с обработанными отверстиями подаются на шлифовальный станок для окончательной обработки. Усложним ситуацию и допустим, что нужный расточной резец имеется только в одном экземпляре. Тогда получается, что задействован только один расточной станок и он получает в два раза больше полуфабрикатов, чем может обработать, а шлифовальный станок на финальном этапе получает полуфабрикаты поштучно и справляется с работой. Узкое место очевидно: это линия расточных станков, требуется докупить необходимый расточной резец, что и делает руководство цеха, и узкое место в группе расточных станков исчезает. Но теперь не успевает уже шлифовальный станок, поскольку он получает на обработку в два раза больше полуфабрикатов.

В данном примере наглядно показано, как появляются и мигрируют узкие места на производстве. Своевременное обнаружение узких мест приводит к необходимости постоянного управления производством, что соответствует упомянутой выше концепции бережливого производства современной теории ограничений (TOC — Theory Of Constraints) [5]. После того как узкое место будет выявлено MES-системой, важно правильно «расширить» его, или оптимально пройти через него путем оперативного управления.

На текущий момент вся промышленность нашей страны стоит на пороге Индустрии 4.0, которая требует полноценного использования систем автоматизации управления. MES-системы — это современные программные средства, позволяющие радикально повысить эффективность машиностроительного производства, обеспечить своевременную и синхронизированную доставку средств технологического оснащения на рабочие места.

**А. А. Кутин, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,  
А. В. Вороненко, к.т.н., старший преподаватель,  
кафедра «Технологии машиностроения»  
МГТУ «СТАНКИН»,  
А. А. Акимкин, инженер-технолог,  
АО ГКНПЦ им. М.В. Хруничева,  
Зин Мин Хтун, аспирант, кафедра «Информационные  
технологии и вычислительные системы»  
МГТУ «СТАНКИН»**

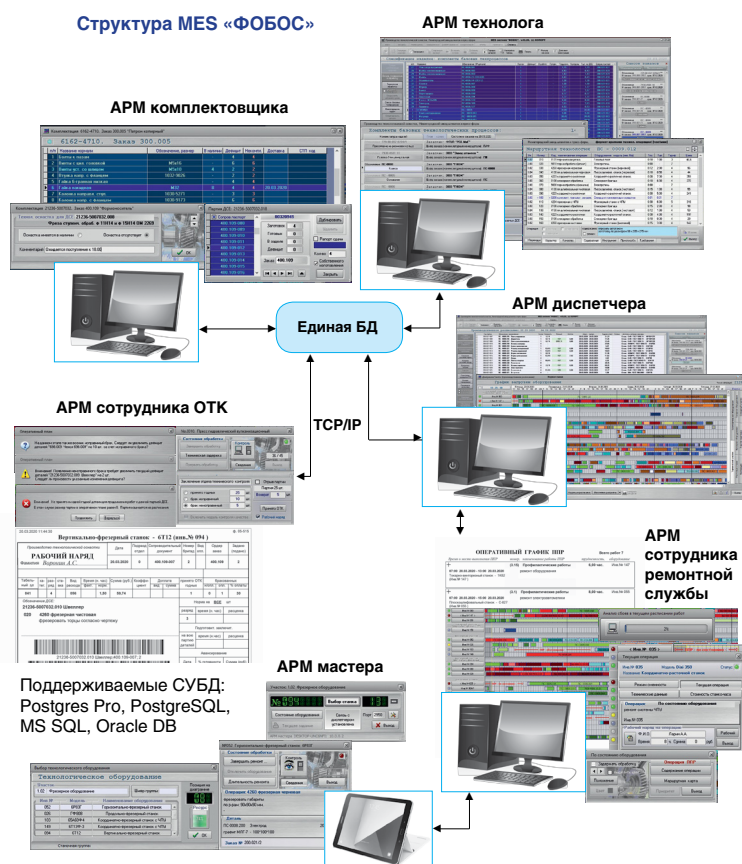
### Литература

1. Кутин А.А., Григорьев С.Н. Организация и управление сложным машиностроительным производством на основе CALS-технологий // Механика и машиностроение. 2012. № 10. С. 403–407.
2. Кутин А.А., Туркин М. В. Повышение эффективности функционирования ГПС в современном машиностроении // Технология машиностроения. 2012. № 1. С. 56–59.
3. Фролов Е.Б., Крюков В. В., Нестеров П. А. [и др.]. Как осуществить интеграцию MES с Lean-инструментами при внедрении методов бережливого производства... и кардинально повысить производительность труда на машиностроительных предприятиях / Генеральный директор. 2020. № 9. С. 18–23.
4. Frolov E.B., Zing Min Htun, Phyu Pyar Moe Application of Artificial Intelligent and Genetic Algorithm in Operational Production Planning in MES-systems / 2018 International Conference on Intelligent Robotics and Control Engineering.— Lanzhou, China, 2018.
5. Фролов Е.Б., Климов А. С., Зин Мин Хтун. Цифровой двойник производственной системы на основе программного обеспечения категории MES // Вестник БГТУ. 2018. № 12. С. 66–73.
6. Фролов Е.Б., Нестеров П. А., Косьяненко А. В. Выбор MES-системы для машиностроительного предприятия // РИТМ машиностроения. 2019. № 8. С. 10–15.

MES-система «ФОБОС» (№ 6297 Реестра российского ПО Минкомсвязи РФ), являясь одним из важнейших звеньев современного цифрового производства, предназначена для управления дискретным машиностроительным производством и ориентирована на оптимизацию внутрицеховых материальных потоков при наличии большой номенклатуры изготавливаемых изделий.

### ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

1. Расчёт производственного расписания.
2. Контроль прохождения заказов.
3. Расчёт загрузки технологического оборудования.
4. Формирование плана подачи заготовок и средств технологического оснащения.
5. Формирование планового рабочего задания.
6. Учёт техобслуживания и ремонтов оборудования, оптимизация ППР.
7. Контроль и учёт готовой продукции и качества в производстве.
8. Калькуляция себестоимости обрабатываемого заказа.



«ФОБОС» является отечественной разработкой, что значительно упрощает процедуру доработки системы под нужды заказчика по сравнению с импортными аналогами.

# МОДЕЛЕОРИЕНТИРОВАННОСТЬ В ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАЦИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ (ИЛИ ЗАЛОЖНИКИ ДОКУМЕНТООРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ)

СТАТЬЯ ПОСВЯЩЕНА АНАЛИЗУ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРАКТИК И МЕТОДОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА (СРПП) ИЗДЕЛИЙ НА ОБОРОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, А ТАКЖЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕХОДА К ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ ИЗДЕЛИЯ В КАЧЕСТВЕ ЕДИНСТВЕННОГО ПОДЛИННИКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В СКВОЗНОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ.

## АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ ТЕМЫ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМ В ЗАДАЧАХ ТРАНСФОРМАЦИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Цифровизация в России развивается в соответствии с принятыми федеральными актами, проводятся аудиты цифрового уровня оборонных предприятий машиностроительного профиля как наиболее распространенной формы производства в ОПК. Данный тренд сейчас рассматривают многовекторно, проводя обследования предприятий с точки зрения цифровизации, как правило, широким охватом всех аспектов их деятельности. Это делается для формирования планов преобразований исходя из необходимости подтягивания к требуемому уровню автоматизации наиболее слабые звенья производственной системы, что статистически верно, но при внимательном рассмотрении часто ошибочно. Другой подход грешит авангардностью решений на основе *цифровых двойников* и *диджитал-подходов*, в большинстве своем далеких от заводских практических задач [1,2,3]. Инжиниринговый рынок предлагает предприятиям сразу внедрять новые цифровые продукты, в основе которых лежат ныне модные технологии искусственного интеллекта. Так, наиболее «продвинутые» компании предлагают начинать цифровизацию предприятий с организации *цифрового слоя* путем использования, например, кросс-платформенного решения ZIF (Zyfra Industrial Framework), детально не раскрывая содержания данного понятия [4]. При этом возникают вопросы о готовности предприятий к таким передовым «инновациям», и учитывают ли они специфику машиностроения и особенности конкретных заводов?

Отметим, что системных цифровых решений в проектно-технологической инженерии, ценных для заводов, исключительно мало [5,6]. Практически отсутствуют комплексные подходы, позволяющие правильно стартовать в цифру и быстро *размотать сложный клубок проблем, изначально потянув за правильный узелок*, выделяя приоритеты и базовые основы, от которых следует *танцевать от печки*. По нашему мнению, на предприятиях *полного жизненного цикла начальной фазой цифровых преобразований* должны стать **данные по изделиям**, правильная оцифровка которых позволяет заложить цифровую основу тотальной автоматизации всех стадий жизненного цикла (ЖЦ). В рамках данного исследования поставлена задача поиска лучших цифровых практик, разрешающих прикладные проблемы оборонных заводов и исключающих прижившуюся в России лоскутную фрагментарность подходов в автоматизации и информатизации бизнес-процессов ЖЦ изделий.

В настоящее время жизненный цикл создаваемых изделий военной техники характеризуется многоступенчатой

кооперацией и междисциплинарными коммуникациями при системной вариативности поступающей от проектно-технологических подразделений информации, обременительным наращиванием документооборота, параллельным существованием разных методологий проектирования изделий и технических политик, систем учета и планирования поставок компонентов. Сейчас в процессах создания наукоемких изделий возникает эффект непрозрачности ЖЦ, размытости объектов управления из-за отсутствия единого информационно-методологического центра и эффективных регуляторов при наполнении информационных потоков по изделию. Это приводит к рассогласованиям, которые сама организационная система не может выправить, поскольку информационный обмен между различными уровнями управления носит агрегированный характер, а внутренняя информация внутри каждого уровня формируется по различным принципам. Кроме того, основными проблемами оборонных предприятий являются часто неразрешимые задачи, своего рода заводские «проклятия»:

- **размерности** из-за сложности состава наукоемких изделий;

- **дискретности** машиностроительных производств;

- **распределенности** производственных систем из-за вынужденной кооперации по цепям поставок и субконтрактным профессиональным взаимодействиям [7];

- **многоукладности**, возникшей на предприятиях из-за длительной эксплуатации устаревших средств и применения неэффективных методов управления прошлых технологических укладов (*станочный парк разных поколений, бумажно-электронная инженерия, IT-лоскутность, гибридные формы документооборота*);

- **«документоориентированности»** в виде доминирования шаблонизированных форм обмена данными, целеориентирующих инженерные коллективы на неэффективное воспроизводство множества стандартизованных в прошлом документов об изделиях (ЕСКД, ЕСТД, ЕСТП). Инженеры стали заложниками многомерного документооборота, затягивая циклы согласования документов и процедуры их передачи по жизненному циклу, отвлекаясь от главного предмета производства — самого изделия;

- **междисциплинарных коммуникаций**, когда результаты деятельности субъектов независимы и не определяются системной инженерией. Машиностроительное производство — это коллективное творчество специалистов через их социальные взаимодействия для аккумуляции интеллектуальных и ресурсных возможностей при создании сложных изделий (включая и межзаводскую кооперацию). Стандартизация и регламентация процессов в российской технологической среде является, к сожалению, вторичным фактором исполнительской дисциплины — многое здесь определяется «звездами» и «рабочими лошадками», па-

триотически достойно тянущими свой воз ответственности на «благо родной отчизны». Именно последние держат в целостности всю систему организационно-инженерного взаимодействия на многих российских предприятиях, а не нормативные документы, что подтверждает иллюзорность принципа документоориентированности в нынешней инженерной деятельности;

— **утраты know-how** в силу принципа «*среда производства и кадры приходят и уходят, а изделие остается*». Уникальные промышленные изделия имеют, как правило, длительный жизненный цикл, но при этом высоки риски потери технологий их изготовления и ремонта, что требует кодификации соответствующих знаний с помощью надежных инструментов их долговременного хранения (например, в цифре).

Вышеприведенное отражает суть проблем большинства российских машиностроительных предприятий, а заводские специалисты нацелены в первую очередь на их разрешение или, по крайней мере, смягчение.

Констатируем, что ключевой причиной стагнации в повышении эффективности СРПП-стадий жизненного цикла изделий является законсервированная документоориентированность инженерно-производственной среды отечественных предприятий, которая исторически сложилась в советский период и с тех пор заострилась, несмотря на попытки молодого IT-поколения автоматизировать эти ответственные процессы. Практически никем в РФ не предложено альтернатив существующей документоориентированной технологии создания наукоемких изделий.

В таких условиях переход предприятий к новому технологическому укладу невозможен без кардинальных реформ и революционной структурной перестройки проектно-конструкторских и организационно-методических подходов к процессам создания наукоемких изделий военной техники. Подчеркнем, что новый уклад должен решить две ключевые **проблемы** российских предприятий: первая — **управленческая**, связанная с непрозрачностью технологической среды из-за сложного документооборота и невозможностью тотального контроллинга бизнес-процессов на основе стандартов деятельности; вторая — **инженерная**, обусловленная итерационным характером проектирования наукоемких изделий поисковыми методами последовательных приближений в коллективном междисциплинарном сотворчестве конструкторов, расчетчиков и технологов, использующих устаревший обмен данными об изделиях и «ручные» методы коммуникаций и управления изменениями, порождающие неизбежные ошибки в документации по изделиям.

## ПАРАДИГМЫ ИНЖЕНЕРНОГО МЫШЛЕНИЯ

Сложившаяся практика инженерии высокотехнологичных производств была выстроена по принципу «*сложный интеграл нужно брать по частям*» путем декомпозиции этапов СРПП изделий с документированной отчетностью на каждой фазе работ. Инженерный документооборот являлся (и пока является) базовым столпом заводской деятельности, на котором держался и продолжает формироваться и архивироваться информационный обмен и система заводских коммуникаций. Целые поколения инженеров являются носителями ЕСКД/ЕСТД-документоориентированного мышления. IT-технология резко ускорили бизнес-процессы, но инженерный документооборот как форма передачи существенной информации между подразделе-

ниями стал первопричиной задержек и информационных разрывов в циклах создания изделий при невозможности их сокращения.

Понятийный аппарат нынешнего поколения заводских инженеров сложился в индустриальный технологический уклад советского периода, обновленный в последние два десятилетия «лоскутной» информатизацией. Налицо зашлакованность наших инженерных мозгов большим объемом новой технической информации и хаотичным разнообразием средств, методов и подходов в обработке информации, продвигаемых на заводы со стороны управляющих структур или через сетевые и вузовские каналы мировой глобализации. Возникший хаос ведет к неструктурированному мышлению, приученному жить по аналогии и традиционно — новое воспринимается как негативная инновация. Однако пора нашему инженерному сообществу переходить в новую парадигму цифрового мышления, к новым принципам этой практической наукоемкой деятельности, поскольку период гибридности лишь затянет стагнацию. Обновление мышления нынешнего поколения инженеров на цифровых платформах возможно путем отказа от устаревших понятий и подходов и замещения их новыми, отвечающими современным требованиям.

Документоориентированность критически сказывается на проведении цифровых трансформаций. При сложившейся парадигме организации и управлении дискретными производствами отказаться от традиционного подхода кажется невозможным, поскольку инженерный документооборот нормативно фиксирован и этим легитимно закреплён.

Альтернативным рычагом управления на предприятиях в сложившихся обстоятельствах может стать лишь правильно поставленная и внедренная цифра. Необходимо внедрение новых и эффективных цифровых инструментов сквозного управления жизненным циклом изделий, позволяющих координировать параллельные работы над изделием из единого центра и не допускать информационных разрывов в процессах создания изделий, в первую очередь при обмене данными о них.

Преодоление обозначенного информационного «конфликта» путем упрощения системы обмена данными об изделиях возможно лишь при переходе в новый цифровой формат управления предприятием на принципах сквозного управления процессами в ЖЦ и координации работ из единого центра принятия решений «по изделию». Во многом такие жизнеобеспечивающие основы управления предприятием закладываются на самых ранних стадиях жизненного цикла изделий — на этапах проектной разработки и постановки на производство (СРПП). Именно поэтому эти начальные стадии ЖЦ и являются предметом реформации для разрешения вышеописанных противоречий в деятельности оборонных предприятий для повышения их операционной эффективности.

В последние 5–8 лет МО РФ предприняло ряд решений, открывающих возможность перехода предприятий на электронные документы и безбумажные технологии информационного обмена данными. В настоящее время российские национальные и отраслевые стандарты дают определения основных понятий, используемых при организации процесса цифрового проектирования, и не запрещают иметь электронную модель в качестве подлинника конструкторской документации (в соответствии с ГОСТ 2.001–2013). ГОСТы допускают снабжение 3D-модели всей необходимой технологической информацией (технические требования, размеры, допуски, посадки, сечения,

разрезы), что является необходимым условием использования **электронной модели в качестве подлинника конструкторской документации** (в соответствии с ГОСТ 2.102–2013 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Виды и комплектность конструкторских документов»). Однако в действующих ГОСТах практически отсутствует регламентация процессов цифрового проектирования и подготовки производства в электронном формате представления. В частности, ГОСТ Р 59192–2020 «Электронная технологическая документация. Основные положения», закрепляя основные понятия и разные формы представления технологической документации, не дает описания соответствующих электронным форматам цифровых процессов организации подготовки производства.

Логичен вопрос: *является ли документоориентированность непреодолимым барьером цифровизации, при которой невозможен компромисс как форма совместимости цифрового и традиционного подходов?* Конструктивный ответ заключается в том, что основой должна стать цифровая модель как норма существования жизни изделия как первичного документального подлинника, а сопровождающая документация является вторичной и обеспечивающей формой социализации цифры. Тогда компромисс возможен на переходный период организационных трансформаций в инженерной деятельности.

Принципиальным вопросом цифрового подхода в СРПП должен стать отказ от шаблонов стандартизованных документов, представленных в традиционном виде (бумажном, электронном) за счет перехода к цифровым формам отчетности, что предполагает кардинальное изменение системы инженерного мышления. Подчеркнем, что центром инженерных коммуникаций должно быть изделие, представленное в той форме, которая позволяет прозрачно управлять его структурными компонентами, их связями между собой и с исходными проектными требованиями на любом этапе его жизненного цикла. Такой формой изделия представляется **«цифровая модель изделия»**,

являющаяся носителем всей полноты информации об изделии, хронологии его проектирования, вариативности и контроллинга любых изменений при условии обеспечения единства среды долговременной жизни такой модели. **Моделеориентированный подход** должен быть положен в основу организации инженерных коммуникаций в виде цифровой модели изделия, что принципиально изменит сложившуюся многоукладность инженерной инфраструктуры, все больше склоняя ее в цифровые слои и в интеллектуальный уклад управления знаниями в промышленном развитии оборонных предприятий.

### МОДЕЛЬНАЯ ФОРМА СУЩЕСТВОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Альтернативой документоориентированности является объектоориентированность как форма целеориентации на конечный результат деятельности (*объект — изделие*), но выраженное не в документальной, а в модельной цифровой форме. Моделеориентированный подход на цифровой платформе сосредотачивает внимание именно на конечном продукте, его качестве и выходных характеристиках, правильно организуя основной поток создания ценности предприятия, приносящего прибыль, за счет эффективной организации проектно-производственного процесса. Это достигается применением цифровых *plm/pdm*-инструментов обеспечения единства среды существования данных об изделии, что позволяет кардинально повысить эффективность проектно-технологических работ в операционной деятельности оборонных предприятий.

Например, в цифровых программных средствах CAD-проектирования существует известный встроенный САД-инструментарий, именуемый как *«управляющая (базовая) контрольная структура» (БКС)*, позволяющая создавать и управлять большими сборками [8]. БКС-технологии выступают в качестве средств интеллектуализации конструкторских работ и поддержки принятия проектных

**Таблица 1. Сравнительные данные об альтернативных подходах в системе организации и управления инженерно-техническими данными об изделиях в ЖЦ**

Наименование	Документоориентированный подход	Делоориентированный подход	Моделеориентированный подход
Разработчик / нормативная база	ФГУП «ВНИИНМАШ» Традиционные стандарты (ЕСКД+ЕСТД+ЕСТПП) Серия ГОСТ Р СРПП	НИЦ «Прикладная логистика» <b>ГОСТ Р 59192-2020</b> . Электронная технологическая документация. Основные положения Серия ГОСТ Р СРПП	ГК «Ланит» Стандарты цифрового проектирования ГК «Роскосмос»
Целевой объект	<b>Документ</b>	Электронное <b>дело</b>	Цифровая <b>модель</b> изделия
Уклад	<b>Индустриальный</b>	<b>Информационный</b>	<b>Цифровой</b>
Среда ЖЦ	Дискретная	Дискретная	Единая сквозная в ЖЦ
Жизнеспособность объекта управления	Жесткий документооборот как форма существования технологической среды	Информационный (гибкий) документооборот	Цифровая среда «живой» трансформации электронной модели в ЖЦ
Автоматизированный инструмент управления в ЖЦ	Отсутствует	«Шовная» интеграция моделей на основе международных форматов обмена данными	ЦКС (цифровая компоновочная схема) как управляющая структура изделия, основанная на интеграции ассоциативных связей его составных компонентов.
Результат	Бумажные документы (РКД, ТД) как выходная бизнес-продукция	Комплект гибридных (электронно-бумажных) и виртуальных документов.	Цифровая модель изделия — это электронный макет изделия, ассоциативно связанный с ЦКС — исходным управляющим каркасом концептуального геометрического облика изделия.

решений, но системная применяемость их пока методически регламентирована лишь некоторыми корпоративными стандартами ГК «Роскосмос» [9,10].

В рамках модели ориентированного подхода для формирования цифровой модели изделия необходимы три базовых условия:

1 — **мультифункциональная среда моделирования**, предполагающая широкий функционал по структурно-конструктивной сложности (большой размерности) модели и многомерности ее цифровых (электронных) представлений: комплексу расчетных, схематических, габаритно-массовых и т.п. производных моделей и их PMI-данных;

2 — **единая (сквозная) информационная среда существования** модели изделия на протяжении всего жизненного цикла на основе PDM-обмена данными об изделии;

3 — **квалифицированное кадровое сопровождение проектов внедрения**.

Это реализует синергию модельных возможностей и информационной неразрывности (ассоциативности, прозрачности) связей данных об изделии в ЖЦ, обеспечивая требуемую технико-экономическую эффективность при создании изделий и их конкурентоспособность на рынке наукоемкой продукции по срокам вывода на рынок, качеству и издержкам.

В **таблице 1** приведены сравнительные данные разных подходов к обмену данными об изделиях в российской промышленной среде, зафиксированные в принятых национальных и корпоративных стандартах. При этом инженерами ГК «Ланит» предлагается развитие БКС-технологий — апробированная методология, основанная на цифровых компоновочных схемах (ЦКС) [6, 9, 10] (**табл. 1**).

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА В СКВОЗНОМ ОБМЕНЕ ДАННЫМИ ОБ ИЗДЕЛИИ

Цифровая технологическая подготовка производства (ТПП) спроектированных изделий не может рассматриваться вне контекста с начальными фазами их разработки. В рамках постановки на производство осуществляются процессы технологической, метрологической, организационной и материально-технической подготовки производства, охватывающие разноплановые аспекты практической инженерии, а также процессы закупок и разработки-изготовления специализированных средств оснащения для основных техпроцессов по изделию. Автоматизация ТПП осуществляется как с помощью специализированных САРР-средств, так и на основе универсальных PDM-технологий. Информационной базой для цифровой ТПП является конструкторская документация по изделию, представленная в электронной форме. Алгоритм ТПП, представленный в **таблице 2**, позволяет последовательно реализовать все требуемые этапы преобразования конструкторских данных в технологические в достаточном объеме для своевременного и наиболее дешевого изготовления экземпляров изделия в заданном масштабе выпуска.

При подготовке **таблицы 2**, отражающей как типовые задачи ТПП, так и специфические особенности ее цифровизации, были опрошены ключевые компании российского рынка ТПП-soft, разработчики САРР-средств, цифровые аудиторы, вендоры и дистрибьюторы программных средств цифровизации ТПП, осуществляющие контроллинг и практическую поддержку безбумажных и цифровых технологий создания сложных изделий машиностроения в высокотехнологичных отраслях РФ:

ADEM (<https://adem.ru/>), АСКОН (<https://ascon.ru/>), ИТЦ «Информтехника» (<http://cniicentr.ru/>), ГК «Ланит» (<https://lanit.ru/>), НПО «Техномаш» (<http://tmno.ru/>), ЗАО «Топ-системы» (<http://tflex.ru/>), ООО «Центр СПРУТ-ТП» (<https://csprut.ru/>).

## БЕСТ-ПРАКТИКИ КОМПЛЕКСНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЙ

Рассмотрим методику решения поставленной проблемы на основе цифровых разработок от компании «Ланит» [6, 9, 10, 11]. Предложенный и апробированный подход отличается тем, что является системным и в данной постановке не применяется отечественными вендорами и российскими инжиниринговыми компаниями в задачах цифровизации отечественного машиностроения. Компания «Ланит» активно продвигает свой особый **способ инженерной реализации PLM-технологии (Product Lifecycle Management — управление жизненным циклом изделия)** на основе тяжелых САД-средств (T-FLEX, NX) и PDM-технологий.

Такое освоение PLM-технологий, обеспечивающих конкурентное преимущество на современном рынке, позволяет организовать высокоэффективные процессы цифрового проектирования и технологической подготовки производства при использовании условно называемой **«технологии живого электронного макета» (рис. 1)**. Данная технология подразумевает появление следующих принципиально новых понятий и свойств создаваемых моделей изделий:

- **Цифровая компоновочная схема (ЦКС)**. Одним из ее важнейших этапов проектирования является эскизный проект. На этой стадии создается электронная модель компоновочной схемы изделия как начальный концепт геометрического облика изделия, инвариантный к последующим стадиям его проектирования. Именно в ЦКС закладываются основные характеристики изделия, его внешний вид, инновационные конструкторские решения, взаимное расположение и взаимодействие подсистем и узлов. Применение электронного макета (ЭМ) предполагает **«интеллектуальную параметризацию»**, вложенную в математическую цифровую модель изделия с помощью специальных технологий, доступных современным PLM-средствам. Для осуществления проектов по оцифровке существующей КД необходимо использовать ЦКС как набор первичной проектной информации, который позволит исключить механический перенос ошибок, присутствующих в бумажной КД.

- **Электронный макет (ЭМ)**. Технология ЭМ предполагает наличие ассоциативной связи между цифровой компоновкой и собственно электронным макетом изделия. Это дает возможность управляемо транслировать изменения, которые осуществляются в компоновочной схеме прямо в ЭМ. Использование такого метода позволяет в режиме реального времени отслеживать актуальность каждой детали, входящей в ЭМ. Любые изменения могут быть отработаны с высокой степенью автоматизации, что снимает с инженерных служб сверхтрудоемкие задачи по увязке и контролю собираемости изделия при проведении инженерных изменений.

- **Параллельное проектирование в глобальной системе координат модели** осуществляется на этапах технического проектирования одновременно всеми инженерами, вовлеченными в работу над проектом. Так как цифровая компоновка служит своеобразным каркасом, на котором

**Таблица 2. Типовой алгоритм технологической подготовки производства в электронном формате представления изделий машиностроения**

№ п/п	Наименование стадии ТПП, данных и процедур в алгоритме цифровых преобразований «КД → ТД» ЭКД — электронная конструкторская документация ↓ ЭТД — электронная технологическая документация	№ п/п	Наименование стадии ТПП, данных и процедур в алгоритме цифровых преобразований «КД → ТД» ЭКД — электронная конструкторская документация ↓ ЭТД — электронная технологическая документация
А	<b>ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ</b> (исходные данные для цифровой ТПП)	В4	Особенности назначения на операцию режимов и средств оснащения, обеспечения и др. ( <i>физико-технических характеристик материалов</i> )
А1	IT-среда (комплекс ПО) — требования	В5	Особенности оформления технологических эскизов (наладок)
А2	КД в электронной форме	В6	Особенности цифрового проектирования заготовок ( <i>поковки, листовые, отливки, штамповки, прокат, аддитивные</i> )
А3	Требования к данным о ПТБ (данные о производственной инфраструктуре). Описание мощностей и возможностей, логистических параметров ПТБ-цеха (граф связей производственно-технических ячеек и АРМ с цеховой структурой).	В7	Заказ и разработка управляющих программ ( <b>УП ДСЕ — (САМ)</b> )
А4	Кадровый потенциал (профессиональные стандарты)	В8	Метрологическая экспертиза ТП
А5	Данные об организационно-управленческой и производственной структурах предприятия, задействованных в реализации ТПП ( <i>граф-модель предметно-технологической организации цехов предприятия, система организации взаимодействия между технологическими подразделениями</i> )	В9	Особенности проектирования директивных ТП
А6	Нормативно-справочная информация (НСИ)	В10	Особенности цифрового проектирования техпроцессов основного и вспомогательного производства на разных стадиях ЖЦ ТПП (заготовительной, обработки, сборки, измерений, вспомогательного пр-ва)
А7	Фонд конструкторско-технологических решений, БД шаблонов типовых технологических процессов (ТП)	В11	Предварительное комплектование ТД в электронном виде (ЭТД)
А8	Требования и ограничения к разработке/закупкам объектов вспомогательного производства	Г	<b>СТАДИЯ НОРМИРОВАНИЯ</b>
А9	Требования к графическим документам. Требования к цифровому оформлению технологических эскизов (наладок), промежуточных состояний электронных моделей ДСЕ.	Г1	Особенности предварительного материального нормирования
А10	Критерии требований к ТП (директивные ТП, обычные ТП)	Г2	Особенности трудового нормирования в цифре
А11	Методики технико-экономических оценок	Д	<b>СТАДИЯ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЯ ТП</b>
А12	Методики нормирования материалов и трудового нормирования	Д1	Порядок ведения электронных технологических паспортов ДСЕ изделий
Б	<b>АНАЛИТИЧЕСКАЯ СТАДИЯ</b> («технологичность» и «директивность»)	Д2	Система штрих-кодирования документации и предметов вспомогательного производства
Б1	Анализ конструкции с помощью цифровых инструментов. Оценка технологичности конструкции. Признаки директивности ДСЕ по ТП.	Д3	Планирование обеспеченности ресурсами ТП (сетевое планирование маршрутной логистики ТП вспомогательного производства с учетом серийности и системы орг. пр-ва)
Б2	Конструкторско-технологическое членение. Формирование технологических составов (распределение работ по номенклатуре ДСЕ).	Д4	Управление структурой ЭТД в системах внутренней и внешней кооперации
Б3	Анализ актуальности методик расчетно-аналитических оценок ТПП для цифровых технологий	Д5	Заказ средств технологического оснащения (СТО). Планирование и организация производства СТО
Б4	CAD/CAE-технологии промежуточных состояний объектов ТП (полуфабрикатов)	Е	<b>СТАДИЯ ОТЛАДКИ ТП. УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ</b>
Б5	Анализ размерных цепей в сборочных ДСЕ	Е1	Порядок внесения изменений в электронную ТД
Б6	Анализ пооперационного базирования	Е2	Организация взаимодействия в технологических подразделениях и между технологическими подразделениями (по обмену данными при организации, разработке и отладке ТП) в цифровой среде
В	<b>СТАДИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ</b>	Е3	Порядок утверждения ТП в цифровой среде
В1	Формирование маршрутного ТП. 3D-модели (по этапам ТП) при маршрутном выполнении операций (свойства полуфабрикатов конечных предметов производства).	Е4	Порядок обмена ЭТД между площадками производственной системы
В2	Цифровая модель маршрутизации по рабочим местам. Расцеховка.	Е5	Порядок обмена ЭТД между структурами и организациями (при кооперации)
В3	Разработка операций. Порядок разработки электронной технологической документации (ЭТД) основного и вспомогательного производства.	Е6	Формирование комплекта ЭТД и цифровые процедуры утверждения literности

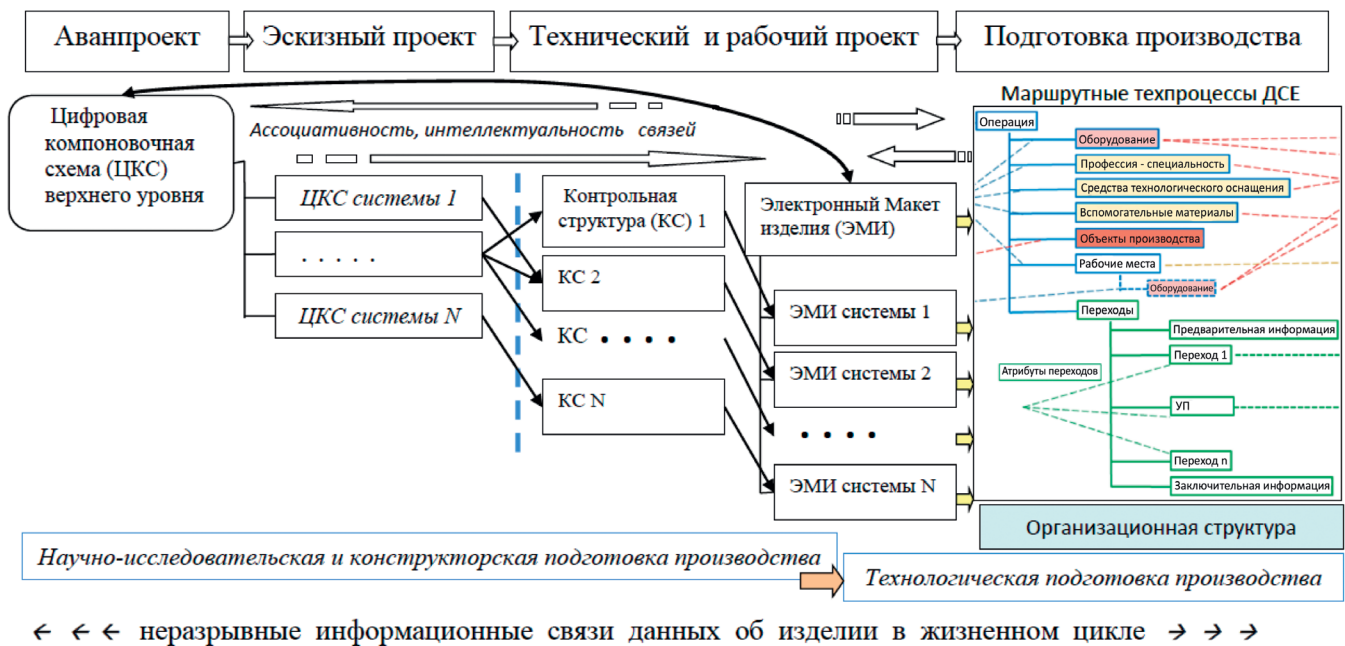


Рис. 1. Структура процессов и технологий комплексной цифровизации стадий жизненного цикла изделий

строятся узлы и агрегаты в ходе рабочего проектирования, то параллельный проектный процесс не требует дополнительной увязки, проверки на возможные нестыковки и пересечения, т.к. эти задачи при таком подходе решаются автоматически.

«Живым» ЭМ становится в результате его сквозного применения и безошибочности итерационных изменений в жизненном цикле изделия, обеспечивая неразрывную информационную связь первичных моделей ЦКС и ЭМ по отношению к вторичным моделям, синтезируемым и применяемым на последующих стадиях цикла создания изделия (расчетного анализа, технологического проектирования, изготовления, метрологического контроля, испытаний, ремонта).

По утверждению авторов методики от компании «Ланит», технологическая подготовка производства (далее — ТПП) в цифровом формате является своеобразным индикатором правильности предложенного подхода, помогая эффективно решать сложные задачи технологического проектирования, планирования, организации и управления основного и вспомогательного производств. Вышеописанные свойства интеллектуальности и ассоциативности созданных электронных моделей при цифровом проектировании проявляют свои преимущества именно на стадии ТПП и в процессе производства. При этом центральной сущностью ЖЦ становится электронная модель изделия, на основе которой выстраиваются все вторичные модели производственно-технологического профиля, имеющие ассоциативные связи с первичной моделью изделия. В этом случае сохраняется преемственность промежуточных состояний деталесборочных единиц (ДСЕ) по технологическим процессам их изготовления, метрологии, сборке и испытаниям изделия. Это позволяет перейти к модели-ориентированным формам сквозного обмена данными об изделии на всех стадиях его жизненного цикла, заменив традиционные шаблоны конструкторско-технологической документации на цифровые. Ответы на важнейшие методологические вопросы практической CAD/PLM-цифровизации есть у разработчиков и представлены в [9, 10, 11]:

- Как правильно создавать цифровую компоновочную

схему с учетом новых свойств, которыми обладает цифровая компоновочная схема по сравнению с традиционной.

- Как организовать процесс контекстного цифрового проектирования.
- Как методологически правильно добиться реализации управляющей функции цифровой компоновки по отношению к электронному макету изделия.
- Как правильно осуществлять согласование и нормоконтроль электронного макета изделия.
- Как организовать корректное оформление 3D-модели с помощью т.н. аннотаций PMI (product and manufacturing information).
- Как организовать процесс использования нормативно-справочной информации по покупным и стандартным компонентам в электронном макете изделия.
- Чем заменить традиционные технологические документы при работе в цифровом формате обмена данными и нужно ли это делать.
- Как представить большую совокупность производственно-технологических данных по изделию в цифровом формате с тем, чтобы иметь как минимум эквивалент управляемости и качества принятия решений при ТПП, существующий в традиционных подходах.
- В каких аспектах улучшится результативность работы при переходе на цифровой формат обмена данными и при цифровом управлении бизнес-процессами и др.

Экспертный анализ приведенного выше подхода показал, что цифровая ТПП должна осуществлять с электронными моделями такие ключевые процессы:

1. **Формирование технологических составов**, что связано с иерархической декомпозицией (членением) конструкторского состава изделия и формированием на этой основе технологически обусловленных комплектов ДСЕ для их производства и сборки изделия.

2. **Технологическое проектирование маршрутов операций**. При этом должно быть произведено решение триединой задачи технологического проектирования:

— **формообразующая задача**, обусловленная необходимостью обработки требуемых поверхностей детали путем классифицирования и группирования по техноло-

гическим признакам поверхностей изготавливаемой ДСЕ с последующим выбором технологических групп оборудования, обеспечивающих требуемое формообразование. Технологически такой класс задач решается в цифровом формате с помощью CAM- или ADD-технологий;

— **задача изменения свойств** материала и поверхностных слоев ДСЕ, при котором ДСЕ приобретает требуемые физико-механические характеристики, но ухудшает свои геометрические параметры по точности, накапливая (наследуя) погрешности при химико-термическом воздействии на заготовку;

— **прецизионная задача** по обеспечению заданной точности конечной ДСЕ, когда осуществляется обратный синтез электронной модели заготовки путем наращивания припусков на исходную ДСЕ с учетом данных о технологическом наследовании накапливаемых по техпроцессу погрешностей и технических возможностей средств оснащения по прецизионному уточнению промежуточных состояний изделия на каждом шаге ТП, выстроенного по заданному маршруту в достаточном и минимально необходимом количестве операций.

Тогда при цифровизации ТПП обеспечивается сквозная прослеживаемость на этапах ЖЦ геометрических состояний полуфабрикатов (промежуточных заготовок) на каждом операционном шаге ТП и оценивается их влияние как конечный результат. Описанная триединая технологическая задача является многовариантной и требует оптимизационных подходов к выбору лучшего маршрута технологического процесса по числу операций и цеховой/межцеховой логистике. И здесь цифровые технологии находят оптимально быстро и прозрачно по комплексу разнородных, в т.ч. и экономических, критериев.

**3. Нормирование** (материально-трудовое) с использованием свойств промежуточных состояний компонентов изделия на стадиях их изготовления.

Это позволяет сформировать полноценный комплекс данных по изделию, аналогичных маршрутно-материальным спецификациям, для организации последующего производства, логистики и кооперации [11].

Преимуществом описанного подхода является тот факт, что в каждой задаче используются в качестве информационной основы данные первичных электронных моделей в различных статусах. Поэтому гармоничное (по информационным связям в ЖЦ) решение обозначенных технологических задач должно осуществляться в цифровой среде только на основе ассоциативности электронных моделей ДСЕ с первичными ЦКС и ЭМ изделия, что возможно при соблюдении начальных условий разработки концепции и геометрического облика изделия на основе цифровых компоновочных схем, выполняющих управляющую функцию сквозного обмена данными в ЖЦ изделий в цифровом формате. Традиционные шаблоны технологических документов при этом могут быть исключены из документооборота как избыточные.

Таким образом, правильно поставленный на начальных фазах ЖЦ изделий моделиориентированный CAD/PLM-подход позволяет обеспечить прозрачность процессов ЖЦ и реализовать эффективную цифровизацию технологической подготовки производства на основе электронных макетов изделий (ЭМИ) и сквозного в ЖЦ цифрового управления производственной логистикой, циклами планирования ресурсов и инженерной кооперации [11].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

1. Документориентированные технологии инженерной

деятельности являются в настоящее время барьером цифровых трансформаций и причиной стагнации машиностроительных предприятий, отражая отживший технологический уклад промышленного развития.

2. Цифровизация жизненного цикла изделий является сложной инженерной задачей, методология решения которой должна начинаться на самых ранних стадиях цикла создания изделия с использованием цифровой модели (в особом составе свойств) в качестве единственного подлинника конструкторской документации об изделии. Это реализует неразрывную и прозрачно воспроизводимую связь данных об изделии в его жизненном цикле, обеспечивая требуемую эффективность проводимых цифровых трансформаций всех стадий машиностроения на принципах моделиориентированности.

3. Большинство инженеринговых структур в России ведет работу по цифровизации машиностроительных производств оборонных предприятий фрагментарным способом, охватывая отдельные стадии жизненного цикла и затем традиционно сшивая возникающие при этом информационные разрывы без получения искомого операционного эффекта от цифры. Практически нет в РФ инженеринговых компаний, продвигающих цифровизацию комплексно «от начала до конца» методом информационно неразрывного обмена данными об изделии в его ЖЦ.

4. Следует отметить апробированную практику внедрения цифры и системность подхода ГК «Ланит» в задачах цифровизации машиностроения, транслирующего инженерную методологию по цифровой трансформации оборонных предприятий на основе моделиориентированности и информационно неразрывных технологий обмена данными об изделиях в их ЖЦ для эффективного управления циклами разработки, подготовки производства и изготовления из единого центра принятия решений.

**С. В. Лукина**, д.т.н., эксперт РАН и РИНКЦЭ, lukina\_sv@mail.ru;  
**В. М. Макаров**, д.т.н., консультант журнала «Ритм машиностроения», МГТУ «СТАНКИН»

## Литература

1. Цифровое производство: методы, экосистемы, технологии (skolkovo.ru)
2. Индустрия 4.0 — реализация цифровой трансформации производств (secuteck.ru)
3. Разные грани цифрового предприятия / Хабр (habr.com)  
Цифровизация производства в РФ. Не отрываясь от реальности... / Хабр (habr.com)
4. «Цифра» представила ПО для сбора промышленных данных и запуска цифровых проектов — CNews
5. Цифровизация «КАМАЗа»: как облегчить труд технолога и повысить производительность труда. Цифровое производство: сегодня и завтра российской промышленности. Выпуск № 3 (up-pro.ru)
6. Коллективное интервью менеджеров ПАО «Силловые машины» (lanit.ru)
7. Семь целей кооперации — Управление производством (up-pro.ru)
8. Проектирование изделия в среде PDM — PDF Free Download (docplayer.ru)
9. Роскосмос. Утверждена серия стандартов, регламентирующих работу с электронной технической документацией — Новости — Госкорпорация «Роскосмос» (roscosmos.ru)
10. Информационные технологии в Роскосмосе (tadviser.ru) 2021: «Роскосмос» переводит проектирование ракетно-космических комплексов полностью в цифровой вид.
11. Кармишин А.А. Организация инженерной кооперации в холдинговых структурах. Автоматизация проектирования. 2010. № 4. С. 52-54

**Кармишин А.А. 110h18@mail.ru. REM\_Karmishin.pdf**



# МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНО-ОКСИНИТРИДНОГО ПОКРЫТИЯ

РАЗРАБОТКА НОВЫХ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЗВОЛЯЮЩИХ ПОВЫШАТЬ КАЧЕСТВО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ, ЯВЛЯЕТСЯ АКТУАЛЬНОЙ ЗАДАЧЕЙ. РАССМОТРЕННЫЙ В РАБОТЕ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДНО-ОКСИНИТРИДНОГО ПОКРЫТИЯ МОЖЕТ СТАТЬ АЛЬТЕРНАТИВОЙ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОЙ CVD-ТЕХНОЛОГИИ, НЕ ИМЕЮЩЕЙ ШИРОКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ В РОССИИ.

При производстве продукции машиностроительных предприятий, особенно вооружения, военной и авиационной техники, для получения требуемых тактико-технических характеристик используются труднообрабатываемые и специальные материалы. Для их обработки применяются сменные твердосплавные пластины, напайки и цельнотвердосплавный инструмент. Обычно на этот инструмент наносятся износостойкие покрытия.

Покрытия защищают от действия высокой температуры наиболее слабое звено твердого сплава — твердый раствор, связывающий карбиды. Однако применяемые покрытия старого поколения имеют ряд недостатков, основными из которых являются повышенная адгезия (схватывание) с обрабатываемым материалом, особенно при обработке высоколегированных спецсплавов, а также низкая температура окисления материалов, входящих в состав покрытия. Например, нитрид титана работает до  $T = 400^{\circ}\text{C}$ .

Более высокие характеристики имеют покрытия, содержащие оксид алюминия. Такие покрытия, как  $\text{AlTiN}$ ,  $\text{AlSiTiN}$ , могут иметь рабочую температуру до  $1000^{\circ}\text{C}$  за счет пленки оксида алюминия, образующейся на поверхности и препятствующей дальнейшему окислению покрытия. Однако эта пленка достаточно тонкая и быстро изнашивается при эксплуатации.

Стойкость инструмента увеличивают путем нанесения более толстого слоя оксида алюминия, в основном методом CVD. Основная проблема в том, что в России практически нет установок CVD, что сдерживает указанное направление.

Для получения конкурентоспособного покрытия необходимо разработать инновационный метод получения перспективных высокопроизводительных покрытий с более дешевым аппаратным обеспечением.

Несколько лет назад нами было разработано керамическое покрытие на инструмент, сущность которого заключалась в нанесении «чистого» алюминия на нитридный слой с дальнейшим его окислением [1, 2, 3]. В результате окисления алюминия образуются высокотемпературная  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ , стабильная до  $2044^{\circ}\text{C}$ , и нестабильные модификации  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 1).

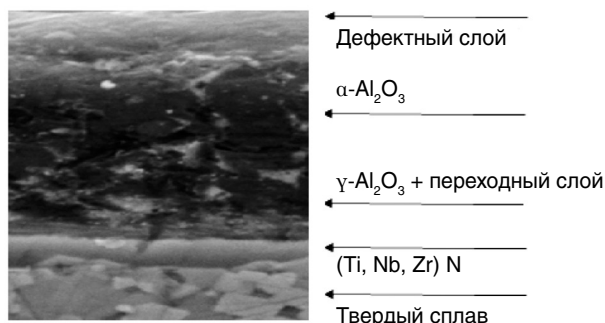


Рис. 1. Структура разработанного керамического покрытия

Полученное высокотемпературное покрытие показало конкурентоспособность при эксплуатации по сравнению с наносимыми на инструмент покрытиями иносфер при обработке материалов на операциях прерывистой и непрерывной механообработки.

Однако процесс нанесения покрытия имеет высокую трудоемкость в связи с необходимостью комбинации нескольких методов нанесения и применяемого оборудования. Поэтому чисто оксидное покрытие целесообразно использовать только на ответственных операциях, при обработке крупногабаритных деталей, ответственных деталей из жаропрочных, титановых сплавов и других труднообрабатываемых материалов, а также деталей подвижного состава, например, колесных пар. В настоящее время покрытия, полученные этим комбинированным методом, используются в основном при обработке колесных пар, на тангенциальных пластинах как отечественного, так и импортного производства. Успешно прошли испытания на инструментах типа матриц, пуансонов, напайного инструмента и др.

Нами разработан способ, который может снизить трудоемкость изготовления износостойкого покрытия путем частичного или полного замещения нитридов на оксиды с помощью метода ВТО.

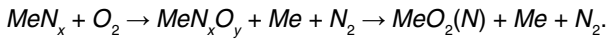
Высокотемпературное окисление (ВТО) вентильных металлов (алюминия, хрома, магния и др.) заключается в модификации покрытия мощными электрическими разрядами в окислительной среде.

Благодаря сочетанию высоких температур, больших скоростей охлаждения и присутствию кислорода на поверхности изделий образуются оксиды с керамическими свойствами. Применяемый электролит является экологически чистым (до 90% дистиллированной воды).

Несмотря на общие подходы и сопоставимые режимы процесса с микродуговым окислением (МДО), на инструмент наносится тонкопленочное покрытие, толщина которого зависит от его назначения, а также области применения и составляет от 2 до 20 мкм. В свою очередь, малая толщина модифицируемого слоя искусственно ограничивает условия образования разрядов.

В связи с этими и другими отличиями от классического МДО процесс модификации покрытия применительно к инструменту наиболее корректно назвать высокотемпературным окислением (ВТО).

Эксперименты по окислению нитридов переходных металлов IVa – Va подгрупп при высоких температурах ранее проводились для определения их способности сопротивляться окислению. Для этой цели до настоящего времени использовались печи, в которых соединения металлов с нитридами окисляются при различных температурах и давлениях. Механизм окисления нитридов металлов IVa – Va групп можно представить следующей схемой:



В результате замещения кислородом происходит выделение азота, что определяет особенности процесса, не характерные для окисления чистых металлов, и влияет на кинетические характеристики процесса и структуру и свойства окарины. Внедрение кислорода в кристаллическую решетку нитридов или их замещение приводит к структурным изменениям, которые вызваны комплектностью решетки. Например, при окислении покрытия TiN при температуре 600–1200°C образуется непрерывный ряд твердых растворов оксинитридов титана. Авторы [4] считают, что условно можно рассматривать получаемые твердые растворы в интервале составов от  $TiN_{1,0}$  до  $TiN_{0,6-0,7}O_{0,4-0,3}$  как замещения — вычитания, а от  $TiN_{0,6-0,7}O_{0,4-0,3}$  до  $TiO_{1,0}$  — как замещения — внедрения. В результате происходит изменение типа кристаллической решетки и, как следствие, изменение ее периода, а также комплектности, которая оказывает решающее влияние на скорость окисления образцов. Например, образцы  $TiNxOy$  с максимальным числом частиц в элементарной ячейке характеризовались наименьшей скоростью окисления и максимальной микротвердостью до 26 ГПа [5].

Фазовый состав окарины, образующейся при окислении нитридов, определяется температурой и временем процесса.

При окислении нитридного покрытия методом ВТО температура в зоне контакта определяется вольтамперными характеристиками процесса окисления и составляет 800–2500°C (при оксидировании в печи — 500–2000°C). Таким образом, применение метода ВТО обоснованно.

Длительность и режимы работы, а также электрические характеристики процесса (свойства проводников, элект-

тролита, детали) определяют количество замещенного нитрида на оксид.

Для управления процессом необходимо определить режимы, влияющие на температуру процесса и, следовательно, на параметры замещения азота на кислород. Кислород образуется при пропускании электрического тока через электролит. Одним из основных параметров электрохимического процесса является плотность тока.

Исследования влияния плотности тока на структуру покрытия проводились на режущих пластинах формозамера CNMG1906016 из сплава BK10XOM с базовым нитридным покрытием AlTiN. Рассмотрено изменение азота и кислорода в проводимых экспериментах и их влияние на структуру получаемого оксидно-оксинитридного покрытия.

На **рис. 2** можно увидеть изменение содержания химических элементов: азота, кислорода, титана и алюминия — в зависимости от плотности тока. Как следует из **рис. 2**, на рабочих режимах, применяемых в эксперименте, содержание азота имеет максимальное значение при плотности тока  $j = 8,0 \text{ А/дм}^2$ . Содержание кислорода в этой точке минимальное, в пределах ошибки измерения, т.е. начальный фазовый состав нитрида титана  $TiN_{1,0}$ .

По мере увеличения плотности тока при окислении содержание азота уменьшается, а кислорода — увеличивается и достигают равенства при плотности тока  $j = 9,5 \text{ А/дм}^2$ . Дальнейшее увеличение приводит к достижению максимального значения кислорода и отсутствию азота на плотности тока  $j = 12,0 \text{ А/дм}^2$ . Фазовый состав соединения титана на этом режиме изменился до  $TiO_{1,0}$ , т.е. образуется оксид титана. Оптимальное соотношение азота к кислороду, или фазовый состав с максимальной комплектностью решетки оксинитрида титана, находится в диапазоне  $j = 9,0\text{--}10,0 \text{ А/дм}^2$ .

На поверхности инструмента в диапазоне  $j = 9,0\text{--}12,0 \text{ А/дм}^2$  наблюдается сплошная пленка из оксида алюминия, связанная с диффузией алюминия к внешней границе покрытия. Увеличение плотности тока уменьшает содержание алюминия в покрытии за счет его выделения в электролит. Разница в температуре плавления алюминия и титана приводит к более медленному выделению последнего в электролит при возрастании плотности тока. Кроме того, при плотности тока выше  $j \geq 12,0 \text{ А/дм}^2$ , нитрид в соединении титана полностью переходит в оксид титана  $TiO_2$ .

Таким образом, наилучшие эксплуатационные характеристики должны соответствовать диапазону плотности тока  $j = 9,0\text{--}12,0 \text{ А/дм}^2$ , где покрытие состоит из верхнего слоя, образованного сплошной пленкой оксида алюминия, инертного к обрабатываемому материалу, имеющему минимальную теплопроводность, защищающему нижележащие слои покрытия и сам инструмент от перегрева.

Нижележащие слои состоят из соединений титана, где азот замещается на кислород, образуя оксинитрид, имеющий максимальную комплектность кристаллической решетки и, следовательно, высокую микротвердость и наибольшую стойкость к окислению.

Полученные выводы подтверждены стойкостными испытаниями покрытого инструмента.

Стойкостные испытания пластин марки BK10XOM формозамера CNMG1906016 с покрытием, полученным частичным замещением азота

Хим. эл., %

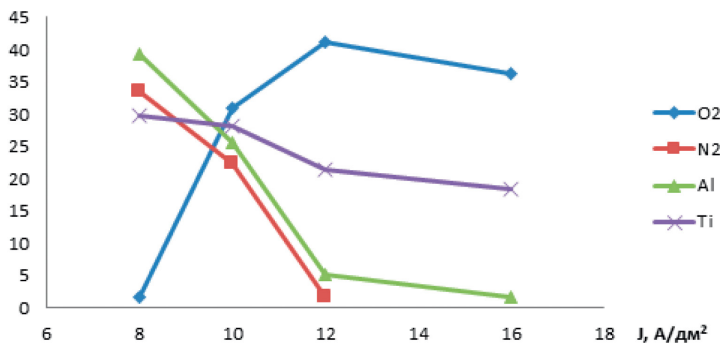


Рис. 2. Изменение содержания хим. элементов от плотности тока

T, мин.

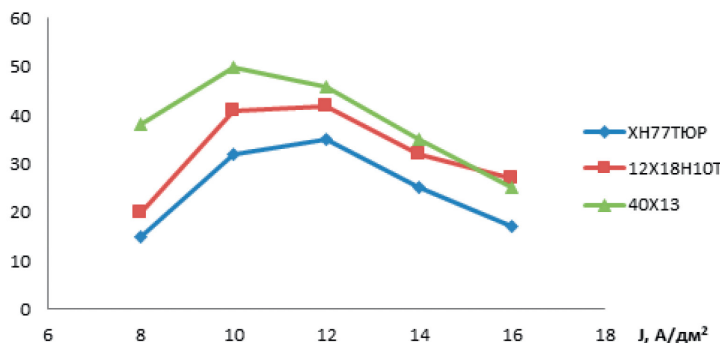


Рис. 3. Зависимость стойкости инструмента от плотности тока при ВТО

Таблица 1

Марка сплава	Покрытие	Стойкость		Общая стойкость всех углов пластины
		Левый суппорт	Правый суппорт	
MC221	Стандартное	15	22	37
	ВТО	39	35	74
PT57A	Стандартное	21	27	48
	ВТО	46	44	90

на кислород, оксидированных с разной плотностью тока, производились на токарном станке Mazak модели QTN250II при обработке нержавеющей стали 12X18H10T на следующих режимах:  $V = 90$  м/мин,  $S = 0,3$  мм/об,  $t = 3,0$  мм.

На рис. 3 представлены графики зависимости стойкости инструмента от плотности тока после окисления. Максимальная стойкость инструмента находится в диапазоне плотности тока в выбранном диапазоне  $j = 9,0-12,0$  А/дм<sup>2</sup>. Для высоколегированных жаропрочных и нержавеющей сталей значительный вклад в стойкость инструмента с покрытием оказывает верхний слой оксида алюминия, препятствующий схватыванию покрытия с обрабатываемым материалом. Поэтому диапазон с максимальной стойкостью при обработке этих сталей и сплавов расширяется до верхней границы плотности тока  $j = 12,0$  А/дм<sup>2</sup>.

Производственные сравнительные испытания проводились при обработке колесных пар железнодорожного транспорта твердосплавными пластинами LNMХ 301940 марки MC221 и PT57A с серийным и нанесенным по предлагаемому способу ВТО оксидно-оксинитридным покрытием. Испытания проводились на следующих режимах резания:  $V = 35$  м/мин,  $S = 1,2$  мм/об,  $t = 10,0$  мм. Результаты сведены в таблицу 1.

Таким образом, доказана возможность получения комплексного покрытия, состоящего из сплошной пленки оксида алюминия на поверхности и нижележащих слоев оксинитрида, путем замещения азота на кислород методом ВТО. Инструмент с комбинированным оксидно-оксинитридным покрытием в указанном диапазоне имеет максимальные эксплуатационные показатели.

А. И. Пьянов, к.т.н., А. А. Кужненко, к.т.н.  
e-mail: andreywap@mail.ru

**Литература**

1. Кужненко А.А. Разработка оксидно-нитридных многослойных покрытий для режущего твердосплавного инструмента. Автореферат диссертации кандидата технических наук. М., 2016. 26 с.
2. Pyanov A. I. Investigating the opportunities for defining the fatigue characteristics of tools with a nanolayer coating during cutting / A. I. Pyanov, V. N. Anikin, A. A. Pyanov // Nanomechanics Science and Technology. An International Journal. 2014. № 5 (3).
3. Пьянов А. А. Высокоэффективный режущий инструмент для черновой механической обработки осей колесных пар вагонов / А. А. Пьянов, А. Ю. Попов, Д. В. Володяев // Труды научно-практической конференции. Неделя науки – 2013. Наука МИИТа — транспорту. 2013.
4. Жиляев В. А. Структурно-химические исследования высоко-температурного окисления соединений некоторых переходных металлов IV–V групп с углеродом, азотом и кислородом. Автореф. дис. ... канд. хим. наук.— Свердловск, 1974. 28 с.
5. Богомолов Г. Д., Швейкин Г. П., Алямовский С. И., Зайнулин Ю. Г., Любимов Д. Д. Физико-химические свойства оксинитридов и карбонитридов титана // Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы. 1971, 7, № 1. С. 67–72.
6. Жиляев В. А. Алямовский С. И., Любимов В. Д., Швейкин Г. П. Механизм и кинетика окисления нитридов и оксинитридов титана на воздухе // Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы. 1974, 10. № 12. С. 2151–2155.

ОРГАНИЗАТОР



УДМУРТИЯ  
ВЫСТАВОЧНЫЙ  
ЦЕНТР

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



ПРАВИТЕЛЬСТВО  
УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКИ



АДМИНИСТРАЦИЯ  
ГОРОДА ИЖЕВСКА

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР



УДМУРТСКИЙ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ  
КЛАСТЕР

# ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

## 15-17 СЕНТЯБРЯ

Ижевск' 2021

**ПРИГЛАШАЕМ  
К УЧАСТИЮ**



**ТЕМАТИКА:**

- Металлообрабатывающее оборудование. Инструмент. Металлопродукция
- Комплектующие изделия и материалы • Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации процессов • Техника и технологии для добычи нефти и газа, нефтепереработки и нефтехимии • Энергетическое и электротехническое оборудование • Охрана труда, безопасность на производстве. СИЗ • Средства пожарной и промышленной безопасности

**Место проведения:** площадка у ТЦ «Мой Порт»,  
ул. Кирова, 146, мобильный павильон

БРОНИРОВАНИЕ ПЛОЩАДЕЙ:



8-912-856-13-93

metal@vcudm.ru

promforum18.ru

# ★ ARMY 2021

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ



\* CV-57

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ  
ОПЕРАТОР



МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ  
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ

22–28 АВГУСТА  
ПАТРИОТ ЭКСПО

[WWW.RUSARMYEXPO.RU](http://WWW.RUSARMYEXPO.RU)



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ  
САЛОН ПРОСТРАНСТВА 1520



**PRO//ДВИЖЕНИЕ.ЭКСПО**

Трансформация технологий и  
новое экологическое мышление

ОРГАНИЗАТОР

**26-29 АВГУСТА 2021**

Москва, Щербинка

**Гудок**<sup>ИД</sup>  
издательский дом

[www.railwayexpo.ru](http://www.railwayexpo.ru)

# ГЛАВНОЕ ОТРАСЛЕВОЕ СОБЫТИЕ 2021



**21-24 СЕНТЯБРЯ**  
РОССИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

**НЕВА** 2021

16-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ  
ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ГРАЖДАНСКОМУ СУДОСТРОЕНИЮ,  
СУДОХОДСТВУ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОРТОВ,  
ОСВОЕНИЮ ОКЕАНА И ШЕЛЬФА



**30 000 м<sup>2</sup>**  
ПЛОЩАДЕЙ



**24 720**  
ПОСЕТИТЕЛЕЙ



**654**  
ЭКСПОНЕНТА



**64**  
РОССИЙСКИХ  
И ЗАРУБЕЖНЫХ СМИ



**29**  
СТРАН-  
УЧАСТНИКОВ



**39**  
ТЕМАТИЧЕСКИХ  
МЕРОПРИЯТИЙ



**СПЕШИТЕ ЗАБРОНИРОВАТЬ  
ЛУЧШИЕ МЕСТА!**

[nevainter.com](http://nevainter.com)

Контакты:

По вопросам участия

Тел.: +7 (812) 321-26-76,

Электронная почта: [info@nevainter.com](mailto:info@nevainter.com)

При поддержке:

МИНПРОМТОРГ  
РОССИИ



# 9-12 НОЯБРЯ 2021

МОСКВА, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Организатор:  
**МЕТАЛЛ  
ЭКСПО**

Место проведения:

**ЭКСПОЦЕНТР**  
Международные выставки и конгрессы  
МОСКВА

Генеральный  
информационный партнер:

**М25** Металлоснабжение и сбыт



Оборудование и технологии  
для металлургии  
и металлообработки  
МеталлургМаш'2021



Металлопродукция  
и металлоконструкции  
для строительной отрасли  
МеталлСтройФорум'2021



Транспортные  
и логистические услуги  
для предприятий ГМК  
МеталлТрансЛогистик'2021

## 27-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

# МЕТАЛЛ ЭКСПО 2021

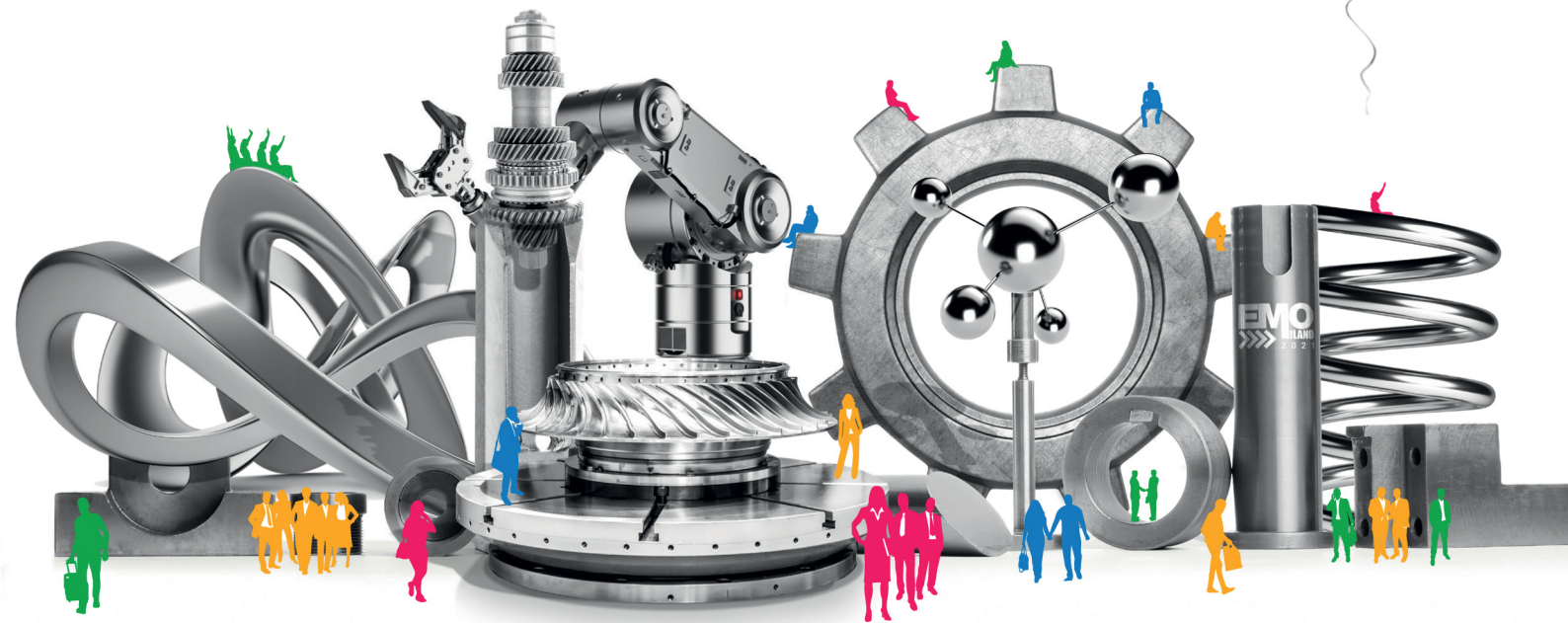
Оргкомитет выставки:  
тел./факс +7 (495) 734-99-66

[www.metal-expo.ru](http://www.metal-expo.ru)

# EMO MILANO

2021  
fieramilano 4-9 October

THE MAGIC WORLD OF METALWORKING



[emo-milan.com](http://emo-milan.com)



FONDAZIONE  
UCIMU 



ITA   
ITALIAN TRADE AGENCY



  
FIERA MILANO

Find here all the  
information to plan  
your participation at  
EMO MILANO 2021

