

РИТМ

МАШИНОСТРОЕНИЯ

'5
2020



WEINGÄRTNER
MASCHINENBAU

... we machine solutions

БЕСПРЕЦЕДЕНТНОЕ КАЧЕСТВО РЕЗКИ

ОБНОВЛЁННАЯ СЕРИЯ ОПТИЧЕСКИХ ГОЛОВ FLC

Непревзойдённая точность и
широкий выбор фокусных расстояний

IPGCut Micro



IPGCut Compact



FLC-D30



IPGCut HP



УВЕЛИЧЕННАЯ СКОРОСТЬ РЕЗКИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ

Подробнее о серии

Малый вес оптических голов позволяет добиться непревзойденной точности позиционирования. Благодаря камере с коаксиальной подсветкой пользователь может следить за процессом резки в режиме реального времени. Головы предлагаются в прямом и угловом исполнениях с широчайшим выбором фокусных расстояний.

РЕШЕНИЕ, СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПОД ВАШИ ЗАДАЧИ

NEW!

YLS-U + FLC + LC

Готовый комплект оборудования для лазерной резки.

Приобретая данный комплект, вы получаете самые инновационные решения, квалифицированное сервисное обслуживание и тем самым инвестируете в будущее своего производства.



НАДЁЖНОСТЬ И МАЛАЯ СТОИМОСТЬ НОВЕЙШЕЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Серия лазеров **YLS-CUT**
имеет наиболее компактные
корпуса из представленных
на рынке

Легкая интеграция
в системы лазерного
раскроя

ВЫСОКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ



Преимущества

КПД от розетки более 50%

Высокая мощность лазерного излучения (до 100 кВт и выше)

Высокая надёжность, огромный ресурс работы

Отсутствие регламентных работ и простота эксплуатации

Режим быстрого управления мощностью излучения лазера по цифровому или аналоговому каналу управления

3 года гарантии с возможностью расширения гарантийного периода



Помимо очевидных преимуществ легкой интеграции лазеры серии **YLS-CUT** обладают высокой герметичностью и включают в свой состав встроенный осушитель. Всё это позволяет использовать лазеры серии **YLS-CUT** в самых суровых производственных условиях.



СОДЕРЖАНИЕ

4
Станкостроение вчера и сегодня /
Machine tool building yesterday and today

6
Выходим из «прошлой жизни» /
We leave the «past life»

10
Кемппи работает вдолгую /
Kemppe works for a long time

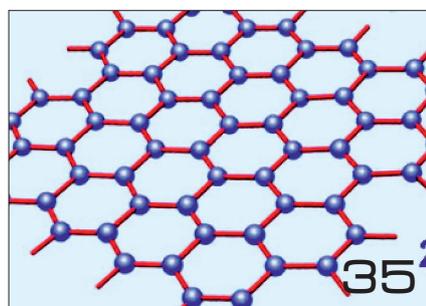
12
Индивидуально подобранный режущий инструмент
для тяжёлого машиностроения /
Individually tailored cutting tools for heavy machinery

16
Проблемы резания при изготовлении элементов
современных летательных аппаратов /
Cutting problems in the manufacture of elements
of modern aircraft

22
Современные технологии обработки отверстий /
Modern hole processing technology

30
Микроэлектроэрозионная обработка.
Состояние и перспективы развития /
Microelectroerosive processing.
Status and development perspectives

35
Графен — реальность и прогнозы:
свойства и способы производства /
Graphene — reality and forecasts:
properties and production methods



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

Отдел рекламы:
П. Алексеев, Е. Пуртова
Е. Ерошкина, Э. Матвеев,
О. Стелинговская
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@gardemash.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")

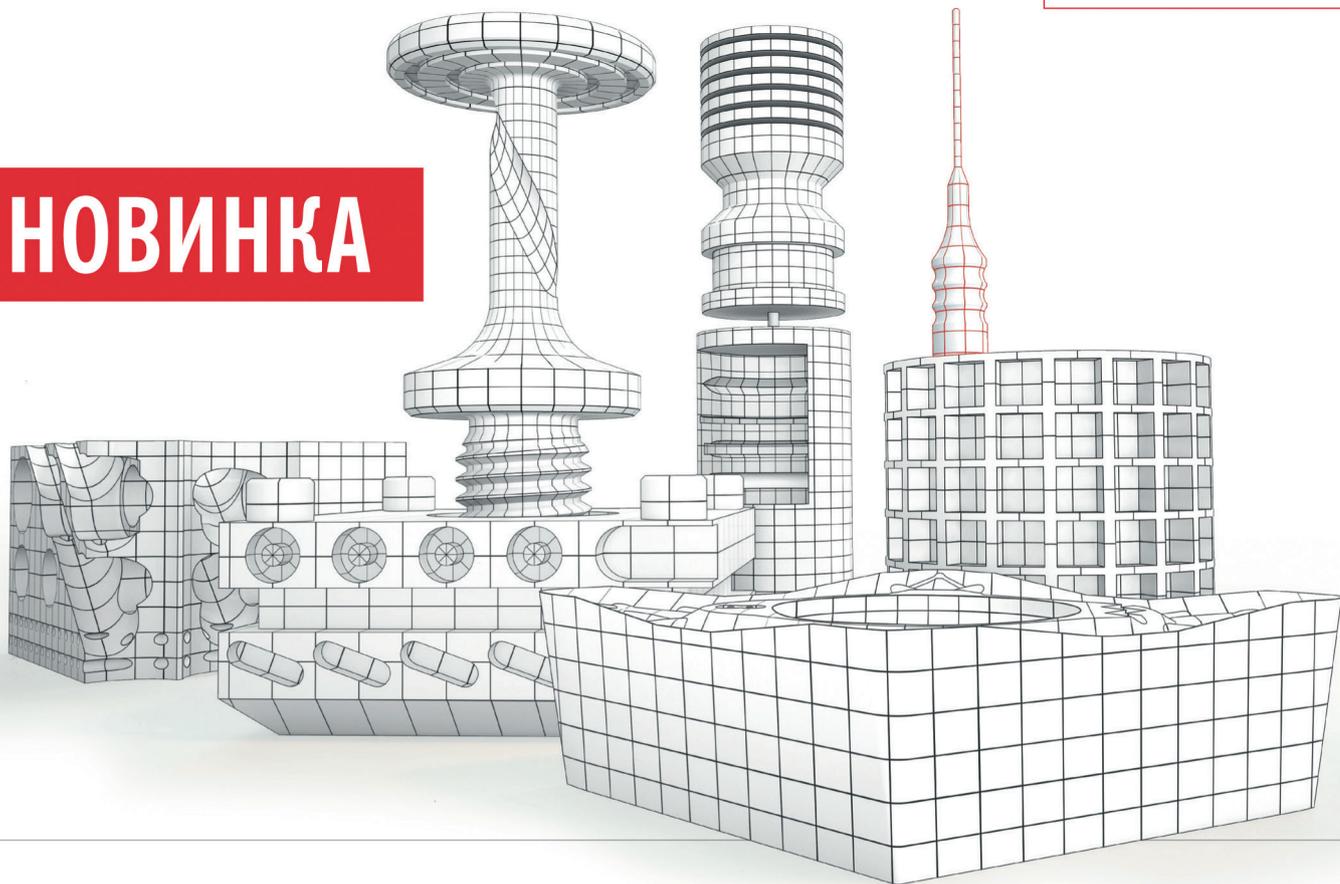
Тираж 10 000 экз.

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.

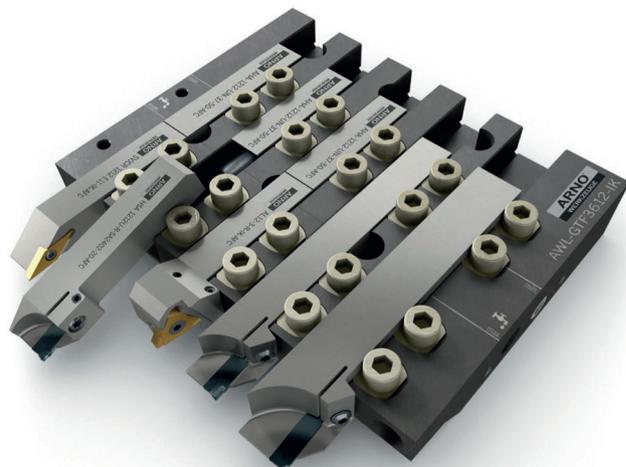
НОВИНКА

Инновации в области продольного точения

НЕЗАУРЯДНЫЙ

Революционное решение для быстрой смены инструмента при продольном точении: двухкомпонентная несущая оснастка AFC, с помощью которой даже самый неопытный персонал сможет с легкостью менять инструменты — включая высокую точность смены. Продольное точение становится еще проще благодаря новой линейной каретке AWL с интегрированным подводом СОЖ — навесные шланговые конструкции уходят в прошлое.

ARNO DIGITAL // Вся информация о системе AFC и линейной каретке AWL вы найдете на сайте: langdrehen.arno.de



СТАНКОСТРОЕНИЕ ВЧЕРА И СЕГОДНЯ

Подробный отчет президента Ассоциации «Станкоинструмент» Георгия Васильевича Самодурова на ежегодном собрании, проходившем традиционно в марте, показал, какие достижения и проблемы существуют в российской станкоинструментальной отрасли по итогам 2019 года. Однако пандемия коронавируса настолько изменила реалии жизни, что приходится уже рассматривать события «до» и «после».

СНАЧАЛА СТАТИСТИКА

Объем выпуска станкостроительной продукции в мире в 2019 г. составил 81,6 млрд евро.

В России ключевые показатели финансового состояния станкоинструментальной отрасли стали следующими: объем внутреннего рынка — 94,2 млрд руб.; объем производства продукции — 37,4 млрд руб. (станкостроение — 16,9 млрд руб., инструментальная продукция — 20,5 млрд руб.); экспорт — 1,85 млрд руб. (28, 8 млн долларов).

Что касается статистики по предприятиям Ассоциации «Станкоинструмент», то за 2019 год выпуск товарной станкоинструментальной продукции и оказанных услуг составил 45,8 млрд руб. (106% к предыдущему году). Из них по объему производства 54% — инструментальный комплекс, 30% — станки и обрабатывающие центры, 16% — кузнечно-прессовое и литейное оборудование, а в стоимостном выражении: 58,5% — инструментальный комплекс, 21% — станки и обрабатывающие центры, 20,5% — кузнечно-прессовое и литейное оборудование. К сожалению, приходится констатировать, что целый ряд предприятий имели тенденцию к снижению по сравнению с предыдущим 2018 годом, в частности, последние пять кварталов наблюдается уменьшение выпуска самого современного оборудования с ЧПУ. Так, предприятиями Ассоциации в 2018 г. было произведено металлорежущих станков с ЧПУ 1056 шт. на 6826 млн руб., в 2019 г. — 877 шт. на 6766 млн руб.

По производству товаров и услуг по станкостроительному комплексу в 2019 году лидерами стали: ООО «Ульяновский станкостроительный завод» (1435 млн руб.), ОАО «Саста» (963 млн руб.), ООО «ГРС-Урал» (812 млн руб.), АО «Станкотех» (580 млн руб.), ОАО «КЭМЗ» (565 млн руб.). Новые разработки представили ООО «Алтайский геофизический завод», АО «Станкотех», ООО «Станкозавод «ТБС», ООО «Владимирский станкостроительный завод «Техника», ООО «Диамех 2000», ОАО «Саста» и др.

По комплексу кузнечно-прессового оборудования, учитывая производство товаров и услуг, Топ-5 выглядит следующим образом: ОАО «Тяжпрессмаш» (3527 млн руб.), ОАО «Электромеханика» (2115 млн руб.), ОАО «Тяжмехпресс» (1338 млн руб.), ОАО «Сиблитмаш» (1168 млн руб.), ОАО «АлтайПресс» (544 млн руб.).

Что касается выпуска инструмента, то лидируют: «СКИФ-М» (872 млн руб.), «Свердловский инструментальный завод» (516 млн руб.), «Кировградский завод твердых сплавов» (462 млн руб.), «Победит» (378 млн руб.). Если же брать показатели производства инструмента плюс оказанные услуги, то Топ-5 будет выглядеть следующим образом: «Кировградский завод твердых сплавов» (3761 млн руб.), «Победит» (1632 млн руб.), «Вириал» (1632 млн руб.), «Зарем» (1172 млн руб.), «СКИФ-М» (871 млн руб.).

Из положительных тенденций также хочется отметить, что в Ассоциацию «Станкоинструмент» в 2019 году вступили 15 новых предприятий, работающих в таких направ-

лениях, как инжиниринг, сборочные технологии, конверсия в рамках предприятий «Роскосмоса», «Росатома» и др. Их специалисты — творческие, талантливые люди, способные предлагать прорывные решения.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ 2019 Г. В РОССИИ

Рассмотрим наиболее важные факторы, которые повлияли на деятельность предприятий станкоинструментальной отрасли России в 2019 г.

Несмотря на снижение инфляции, важнейшие экономические показатели (валовой внутренний продукт, индекс промышленного производства, инвестиции в основной капитал) были хуже, чем в предыдущий период. За последние три года выросли налоговые сборы: НДС, налоги на прибыль, на имущество, на землю и др. В целом налоги выросли от 11 до 23%. Казалось бы, это хороший показатель для государства. Но в то же время просроченная задолженность предприятий по кредитам и займам в 2018 году увеличилась на 18%, а по 2019 г. — на 12%. В 2018 г. количество предприятий сократилось на 8% (по итогам года в 2017 г. — 319 тысяч предприятий, а 2018 г. — 290 тысяч предприятий). Приблизительно на 7% сократилось количество предприятий в 2019 году. В сфере обрабатывающей промышленности за 2018 год закрылась 41 тысяча предприятий. В результате возникает вопрос: кто для кого существует? Предприятия для того, чтобы работала экономика и развивалась промышленность, или налоги, собранные любой ценой? Кроме того, насколько правильно то, что Центробанк, единственный в мире, имеет перед собой главную задачу — обеспечение инфляции на уровне 4% (это прописано в его планах на 2019–2021 год)? При этом Центробанк не отвечает за экономический рост, за рабочие места, развитие промышленного комплекса и экономики страны.

НАИБОЛЕЕ СЛОЖНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СТАНКОИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАСЛИ, ТРЕБУЮЩИЕ СИСТЕМНОГО РЕШЕНИЯ

Данные проблемы возникли не сегодня, тем не менее они продолжают остро стоять на повестке дня. К ним относятся:

- Проблемы, связанные с производством: недостаток собственных оборотных средств и инвестиционных ресурсов у большинства предприятий отрасли; высокий уровень износа основных фондов предприятия; высокая импортозависимость по комплектующим, изделиям и материалам; жесткие условия и ценовая зависимость по поставкам энергоресурсов.

- Проблемы научно-технической деятельности и инноваций: недостаток собственных средств предприятия на НИОКР; недостаточность отраслевой научно-технической политики; практически полное отсутствие профильных научно-исследовательских отраслевых институтов и организаций; слабая связь с фундаментальной наукой.

- Проблемы, связанные со сбытом на внутреннем рынке: недостаток системы госзакупок, связанный с нестыковками законодательных актов (ФЗ 223 и 44); отсутствие ответственности потребителей продукции за невыполнение норм ПП № 239 от 07.03.2019 г.; неэффективная роль выполнения ПП № 719 при получении статуса российского производителя; низкий уровень информированности конечных потребителей о современной продукции станкоинструментальной отрасли;

- Проблемы кадрового обеспечения: дефицит квалифицированных кадров; недостаток профессиональных и образовательных стандартов; отсутствие государственной системы подготовки кадров рабочих профессий и специалистов среднего звена.

ВАЖНЕЙШИЕ СОБЫТИЯ ОТРАСЛИ В 2019 Г.

Конечно, хочется рассказать и о достижениях:

- В рамках Фонда развития промышленности создается новая программа, направленная на обеспечение промышленных предприятий товарной номенклатурой (в том числе компонентной и ресурсной базой), используемой в производстве.

- В целях предоставления консультационных и образовательных услуг на регулярной основе, а также разработки новых и адаптации существующих решений для автоматизации и роботизации промышленных предприятий в РФ на территории инновационного центра «Сколково» строится современный инжиниринговый центр японской корпорации FANUC площадью порядка 6500 м² и количеством инженерно-исследовательского персонала в 100 человек. Размер частных инвестиций, направленных на создание центра, составил порядка 600 млн руб. Запуск предполагается в 2020 году.

- ПАО «Электромеханика» приступило к реализации проекта по созданию оборудования для получения высокодисперсных порошков из легких металлов и сплавов.

- В г. Краснодар с участием банка «Кубанькредит» идет активное создание производства современных токарно-карусельных станков и обрабатывающих центров на их базе.

- В рамках механизма государственно-частного партнерства продолжили действовать три СТП в городах Липецк, Сасово и Пермь.

Нельзя не упомянуть, что Ассоциацией «Станкоинструмент» была проделана большая работа по анализу российского рынка комплектующих для металлообрабатывающего оборудования и даны предложения для организации и поддержки их серийного производства в России.

ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ

17–19 июня состоялась онлайн-конференция «Металлообработка–2020», организатором которой выступило Липецкое станкостроительное предприятие. Г.В. Самодуров принял в ней участие и рассказал уже о текущем положении дел и шагах, предпринимаемых Ассоциацией «Станкоинструмент» для поддержки отрасли в период многочисленных ограничений, вызванных пандемией коронавируса.

Он отметил, что первый квартал 2020 года для предприятий Ассоциации выглядел довольно успешным. Некоторые трудности с комплектацией, которые возникли из-за введения карантинных мер в странах Юго-Восточной Азии и Европы, не успели отразиться существенно на деятельности предприятий. Однако дальнейшие события, включая жесткий карантин, введенный в России с 26 марта, конечно, затронули всех. И были большие опасения, что это может нанести значительный ущерб отрасли. Тем не менее Георгий Васильевич с удовлетворением отметил, что на начало апреля 90% предприятий Ассоциации продолжили работу с разной степенью загрузки и присутствия сотрудников на рабочих местах (в основном от 40 до 90%). Понятно, что были сложности и работа была не такой ритмичной, как в первом квартале, тем не менее

руководители большинства предприятий смогли оптимизировать свою деятельность.

В течение второго квартала принимался целый ряд постановлений правительства, указов и поручений президента, которые были направлены на поддержку отраслей, наиболее пострадавших от кризиса. К сожалению, в этот перечень практически не вошли предприятия машиностроения и станкостроения. Обращения Ассоциации к руководителям правительства, Минпроторга, Министерства экономического развития, Агентства стратегических инициатив, Корпорации малого и среднего предпринимательства, ТПП, Российского союза промышленников и предпринимателей и др. пока не дали существенного результата. Выдвинутые предложения включены в перечень рассматриваемых вопросов, но решений нет. Тем не менее работа продолжается.

Так, например, 15 июня 2020 г. Г.В. Самодуров принял участие во всероссийском совещании, посвященном вопросам развития станкоинструментальной промышленности, которое провел министр промышленности и торговли РФ Д.В. Мантуров на площадке Южного завода тяжелого станкостроения. Комментируя меры государственной поддержки, министр отметил: «Правительство сейчас делает особый акцент на регуляторном стимулировании спроса на российскую промышленную продукцию. Принят ряд актов по запретам и ограничениям, в их развитие в Госдуме на обсуждение внесены законопроекты по квотированию закупок в рамках 44-го и 223-го федеральных законов». Для дополнительной поддержки производителей станкоинструментальной продукции планируется адаптировать механизм субсидирования в виде предоставления скидки потребителям по аналогии с постановлением в сельхозмашиностроении № 1432. Это позволит увеличить долю присутствия российской продукции на внутреннем рынке в гражданских отраслях.

Среди предложений, озвученных Г.В. Самодуровым во время совещания и одобренных руководством Минпромторга, также:

- корректировка постановления правительства от 17 июля 2015 г. № 719 «О критериях отнесения промышленной продукции к промышленной продукции, не имеющей аналогов, произведенных в Российской Федерации»;

- реализация постановления правительства РФ от 30 апреля 2020 г. № 616 «Об установлении запрета на допуск промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных нужд, а также промышленных товаров, происходящих из иностранных государств, работ (услуг), выполняемых (оказываемых) иностранными лицами, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасности государства»;

- создание условий для более тесных связей с предприятиями ОПК по обеспечению их потребностей в современном высокоточном и высокопроизводительном металлообрабатывающем оборудовании.

Кроме того, следует отметить, что в стадии принятия находится постановление правительства РФ, которое обяжет заказчиков со стороны государства, участвующих в закупке станкоинструментальной продукции, при заключении контракта авансировать эти закупки на уровне 80%. Это решение, по мнению Г.В. Самодурова, сыграет важную роль для выхода из той сложной ситуации, в которой сегодня приходится работать.

Татьяна Карпова

ВЫХОДИМ ИЗ «ПРОШЛОЙ ЖИЗНИ»

Выставка «Иннопром» перенесена на будущий год, но деловая программа идет онлайн. Темой очередной — и весьма острой! — дискуссии стал вопрос: «На ком лежит ответственность за спасение утопающих: ждать ли помощи от государства или выплывать самим?» Модератором стал Антон Атрашкин, директор деловой программы «Иннопрома», блестяще проведший тему сквозь разногласия мнений представителей крупного бизнеса, институтов развития, государства.

СЛЕЗАТЬ С ИГЛ

Модератор задал тон дискуссии вопросом, обращенным к зампреду правительства РФ Юрию Борисову: «Предпринимателей поразило полное отсутствие поддержки со стороны государства в период коронакризиса. Они усомнились, в той ли стране они платили налоги». Юрий Борисов, решительно ответил, что даже частично не может согласиться с такой оценкой: «Государство делает все!»

Тем не менее это утверждение не дало ответа на вопросы многих компаний, которые ссылались на опыт поддержки экономики в других странах. Юрий Борисов, однако, счел, что обсуждать скорее надо не то, что делается сегодня, а то, как мы будем развиваться после кризиса. Текущий кризис, констатировал Борисов, вызван множеством факторов, но в первую очередь это кризис спроса, к которому привели пандемия и падение цен на нефть. Кризис спроса коснулся всех участников рыночных отношений, и выход из этого кризиса видится через классический кейнсианский «подогрев» спроса, что требует денег.

На вопрос модератора, не получится ли так, что поддержку получит тот, кто раньше добежит до правительства, а может быть, и до президента, Борисов ответил, что формирование спроса правительство видит в стимулировании системообразующих отраслей. Это влечет за собой решение проблемы занятости, загрузки производственных мощностей, укрепление экспортного потенциала и укрепление конкурентоспособности экономики страны в целом. Одно рабочее место в системообразующих отраслях генерирует 6–8 мест в других отраслях, особенно в производственном малом и среднем бизнесе, а также способствует восстановлению кооперационных цепочек. Нужно перезапустить экономику, и это должно сделать государство, сформировав спрос. Меры поддержки должны ранжироваться как краткосрочные — 2020–2021 гг., среднесрочные — 2021–2025 гг. и долгосрочные — после 2025 г. Краткосрочные — это сохранение рабочих мест, бесперебойная выплата зарплат, поддержание производственных мощностей предприятий для возможности перехода к решению среднесрочных задач — наращиванию темпов роста экономики. Долгосрочный период предполагает закрепление лидерства России по отдельным направлениям развития, повышение конкурентоспособности с использованием новых драйверов роста.

Этот монолог о том, что надо делать, а не о том, что реально делает правительство, завершился вопросом модератора, повлияет ли кризис на настрой России быть энергетической супердержавой или пора менять парадигму, «слезать с нефтегазовой иглы». Юрий Борисов, в свою очередь, отметил, что правительство и ЦБ отка-

зались от инструментов, которые использовались в предыдущие кризисы. Так, ЦБ не повышает, как раньше, а снижает ставку для поддержания инвестиционного спроса. Правительство держит курс на изменение структуры экономики в целом. Самое время переходить к более глубокой переработке углеводородного и другого сырья, что дает более высокую добавленную стоимость. Уменьшение доли углеводородов в ВВП и бюджете страны благодаря росту других отраслей промышленности — это задача дня.

Представители большого бизнеса, однако, не демонстрировали оптимизма, который звучал в выступлении Юрия Борисова, хотя согласились, что кризис обнажил структурные проблемы и что задача стимулирования спроса критически важна.

Снова звучала тема важности импортозамещения, которую ярче всех обозначил Алексей Рахманов, гендиректор «ОСК» призвав «слезть с иглы импорта».

ЧТО ВОЛНУЕТ БИЗНЕС

Практически не было речей с просьбами поддержать ту или иную компанию, выступавшие демонстрировали понимание состояния экономики страны в целом, хотя понятно, что обозначенные проблемы не вчера появились.

Тезисно основные озабоченности выглядят так. Спрос, импортозамещение, уход от углеводородной экономики. Отсутствие длинных денег, которое лишает возможности обновлять транспортный парк и инфраструктуру. Необходимость отказаться от поддержки тех, кто и в предыдущие годы был неэффективен. Готовность компаний отказываться от государственной поддержки НИ-ОКР, поскольку невозможно дать гарантии, что результат обязательно будет внедрен. Возрастание протекционизма, сжатие спроса, усиление конкуренции: «Завтра борьба будет не за прибыль, а за сам факт присутствия на рынке». Узкое место всякого кризиса — поддержание операционной эффективности. Было и экзотическое соображение, что конкурировать надо не между собой, а с «внешними» производителями. Удвоение-утроение скорости цифровизации. Поддержка не гигантов рынка, а их поставщиков, то есть производителей компонентов.

Андрей Бокарев, президент «Трансмашхолдинга», высказал беспокойство по поводу внесенного предложения о налоге на добычу полезных ископаемых, тогда как власти обещали не менять ставки налогов. Законопроект содержит норму, которая в период падения рынка ориентирована на повышение налога при достижении порога 62 долл. за тонну вместе с транспортными издержками.

ТРИ БУКВЫ

V, U, L — эти три буквы обозначают три сценария выхода из кризиса. **V** — быстрый спад и быстрый отскок к предыдущему состоянию; **U** — падение, затяжной период низкой экономической активности с последующим восстановлением; **L** — резкий обвал с последующей депрессией, что называют самой опасной разновидностью кризиса.

Модератор запустил онлайн-опрос с голосованием за наиболее вероятный для нашей страны выход из кризиса. Ответ экспертной аудитории был 54% за вариант **L**. Похо-

же, это не только прогноз траектории выхода из кризиса, но и оценка действий государства. И до кризиса была потребность в рывке, на который требуются огромные средства. Сейчас эта необходимость стала еще острее, но «объем субсидий и налоговых льгот оценивается в 1,3% ВВП, — сказал Андрей Клепач, главный экономист ВЭБ, — тогда как, например, в Германии 7–8% ВВП. Но в Германии гарантии, это кредитная поддержка — почти 20% ВВП, у нас 0,7–0,8%, и к тому же они работают иначе. Самым гибким рычагом было бы изменение механизма кредитования и гарантийной поддержки предприятий, но здесь требуются другие механизмы снижения рисков».

О МАЛОМ БИЗНЕСЕ ЗАМОЛВИТЕ СЛОВО

Надо отдать должное организаторам, которые собрали уникальный состав экспертов. И хотя некоторые выступавшие говорили о роли малого и среднего бизнеса в здоровой экономике, звучало это как-то вскользь. Да, собственно, и среди участников дискуссии не было ни одного представителя малого бизнеса, от которого можно было бы услышать суть волнующих малый бизнес проблем. Единственным выступавшим, подробно осветившим эти проблемы, стал глава «Роснано» Анатолий Чубайс, которого модератор назвал самым опытным кризис-менеджером. Суть в следующем. Все вроде бы уповают на инновационные технологические компании, говорят, что им надо помочь, но сначала надо определить, кто это, и посчитать. Сегодня, по словам Чубайса, нет определения инновационного предприятия. Вот только на днях появился законопроект, принятый Госдумой в первом чтении, в котором введена категория инновационных предприятий. «Это важно, но надо динамичнее двигаться вперед, — считает Чубайс. — Сколько в стране стартапов? Сколько венчурных компаний? Сколько фондов прямых инвестиций? Ни на один из этих вопросов сегодня страна не знает ответа. Статистики такой нет, мы считать не умеем, а все это малое инновационное сообщество — важная часть подрастающего технологического обновления. У них тоже кризис, но совсем другой. Их никто не закрывает, как закрывали, например, рестораны. Но что дальше? Инвестиционные программы больших компаний будут сокращены, а это спрос для инновационных предприятий. Хорошо, если снижение инвестиционной активности больших компаний продлится год-два-три. Для малого инновационного бизнеса это означает, что финансирование, на которое ты рассчитывал через 2–3 месяца, получишь через полгода или через год, и цену получишь ниже. Это означает, что многие не выживут, тысячи малых превратятся в сотни, чего допустить нельзя. Необходимо ускорить работу по законодательному их определению, вернуть работу по статистике и расчетам и, конечно же, выходить на поддержку». Сейчас «Роснано» объединилось со «Сколково» в намерении создать реестр инновационных технологических компаний. Когда в одной точке пересекутся усилия законодателей и создателей реестра, тогда будет внятно описано сообщество инновационных компаний, тогда внятно можно будет описать меры поддержки.

НЕ НЕФТЬ И ГАЗ, А НЕФТЕХИМИЯ И ГАЗОХИМИЯ

Нефтяники, сказал модератор, надеются на то, что к концу года цена на нефть начнет расти, а там и мировая экономика, поднимаясь, подтянет за собой цену на

нефть и снова заживем. Чубайс, слова которого «лошадь сдохла, пора слезть с нефтяной иглы» стали мемом, сказал категоричное «нет». По его мнению, есть несколько крупнейших факторов, которые нельзя игнорировать. Во-первых, фактор технологический. Тренд на замещение двигателей внутреннего сгорания на электрические детерминирован, что сильно повлияет на нефтянку в целом. Во-вторых, глобальное потепление, которое нашей страной также признано и которое сильно повлияет на спрос на нефтегаз в целом. В-третьих, коронавирус. Он инициировал мощное принуждение к цифре, которое изменило образ жизни. Нельзя считать, что закончится коронакризис, и все восстановится. «Возникший баланс цифровой и нецифровой экономики, конечно, качнется назад, но до докризисного уровня не дойдет. Люди станут чуть меньше ездить на автомобилях и поездах, летать на самолетах ровно потому, что смогут пообщаться вот в таком формате, в котором проходит сейчас наша дискуссия. Эти три фактора дают мне основания сказать однозначно, резко и радикально: нет, прежнего не будет. И надо переосмыслить не только тактику, но и стратегию».

ШАГ ЗА ШАГОМ

Поскольку в целом речь шла о промышленности, было важно услышать комментарий Минпромторга РФ, от имени которого в дискуссии принимал участие замминистра Василий Осьмаков. Он сказал, что разделяет кейнсианский подход и что именно внутренний спрос должен вытягивать нашу промышленность. Многие решения, которые сейчас принимаются, — это результат выстраданных компромиссов, попытка решения проблем в условиях ограниченных ресурсов. Сегодня Минпромторг готов к льготному кредитованию компаний, которые осуществляют лизинг за рубежом. Министерство поддерживает решение РЖД по выпуску бессрочных облигаций. По его словам, РЖД станет своего рода полигоном по выработке системного решения для поддержки инвестиционных программ в целом по стране, иными словами, может возникнуть новый институт поддержки спроса. Минпромторг готов всемерно развивать продуктовый портфель Фонда развития промышленности, в частности, поддержать производителей компонентов. Поскольку внутренний спрос сжимается и еще будет сжиматься, экспорт сейчас суперважен, поэтому для экспортёров предусматривается упрощение некоторых процедур и будут созданы преференции.

ИЗМЕНИТЬ ТРАЕКТОРИЮ ВЫХОДА

Юрий Борисов в заключительном слове подтвердил, что именно государству отводится ведущая роль в преодолении кризиса спроса для выхода на динамичный уровень развития. Он также выразил понимание, что нельзя жить в условиях колебаний цен на нефть и зависеть от этих колебаний. Пора прекратить гордиться профицитным бюджетом. Надо рисковать и идти на дефицитный бюджет. Надо тратить. Надо изменить траекторию выхода. Надо не сжиматься, а динамично двигаться вперед. Надо перестать гордиться приростом в 1%, надо 5–6%. Это должно стать национальной идеей. «Мы устали плестись в хвосте».

Зинаида Сацкая

НЕМЕЦКИЕ КОМПАНИИ ПЛАНИРУЮТ УВЕЛИЧЕНИЕ ИНВЕСТИЦИЙ В РОССИЮ

Онлайн-конференцию «Россия и мир в 2021 году», организованную Российско-Германской внешнеторговой палатой, на оптимистичной ноте открыл Маттиас Шепп, председатель правления палаты. Он сказал, что новые вынужденные форматы работы дали возможность успевать много делать. Тем не менее, отметил г-н Шепп, по оценкам европейских экспертов, мир переживает самую тяжелую рецессию со времен второй мировой войны. Падение производства в странах ЕС составило 17,3%, в России — 9,2%. При всех сложностях Германия остается крупнейшим инвестором в российскую экономику, и в ближайшие двенадцать месяцев немецкие компании планируют вложить 1,8 млрд евро в расширение своего бизнеса в России.

Кризис показал уязвимость существующих каналов поставок комплектующих. Они начали рушиться. По словам г-на Шеппа, «многие, в том числе немецкие, предприятия в России в разгар пандемии были вынуждены приостановить производство, вследствие чего немецкий бизнес понес убытки в сотни миллионов евро. Однако многие промышленные предприятия, вернувшиеся к работе раньше всех, столкнулись с проблемой нехватки комплектующих. Они могут работать, но у них не хватает для этого ресурсов».

Глава Министерства промышленности и торговли РФ Денис Мантуров, в свою очередь, также указал на уязвимость существующих каналов поставок, в том числе сложившихся цепочек поставок комплектующих. Он под-

черкнул, что коронакризис обнажил порочность зависимости многих экономик мира от Китая как от одного поставщика. «Нашим министерством уже ведется работа по стимулированию производства на территории нашей страны ключевых комплектующих, на что выделено в 2020 году 570 млн евро». Глава Минпромторга также высказал уверенность в том, «что встраивание крупных и средних российских предприятий в технологические цепочки германских концернов отвечает интересам обеих сторон».

Денис Мантуров назвал опасным вызовом тенденцию к концентрации основных цифровых технологий и компетенций среди нескольких транснациональных компаний. По его мнению, «соединение российских и немецких компетенций по внедрению технологий «умного производства» позволит нам повысить устойчивость наших производственных процессов к внешним воздействиям». Глава Минпромторга заверил также, что министерство намерено развивать и совершенствовать такие меры государственной поддержки, как специальные инвестиционные контракты (СПИК) и корпоративные программы повышения конкурентоспособности. Проект «СПИК 2.0» будет направлен не столько на привлечение инвестиций, сколько на отбор современных технологий, в результате разработки и внедрения которых предполагается освоение серийного производства конкурентоспособной промышленной продукции.

Зинаида Сацкая

БЫСТРЕЕ, ЧИЩЕ, ЛУЧШЕ

Высокая пиковая мощность (HPP) для коротких рабочих циклов, реализованная в последних версиях лазеров YLR и YLS компании IPG Photonics (рис. 1), обеспечивается конструкциями диодов QCW и предоставляет целый ряд преимуществ при решении промышленных задач:

- Прошивка быстрее и чище. Повышается скорость резки и увеличивается время безотказной работы вашей системы.
- Повышенное качество. Вы экономите время, не переделывая детали и уменьшая количество отходов. Использование HPP позволяет обрабатывать мелкие детали.
- Повторяемое и последовательное сверление чистых отверстий. Традиционно сверление чистых отверстий диаметром, равным толщине материала, считается сложной задачей. С HPP можно, например, пробивать отверстия диаметром 0,5 мм, которые в 12 раз меньше толщины материала.
- Уменьшение отходов. Высококачественная прошивка обеспечивает при резке толстых листов металлов более плотное заполнение деталями. Она допускает короткие захо-



Рис. 1. Лазеры серий YLS-HPP и YLR-HPP

ды на контуры резки. Традиционно требуется заход 5–6 мм при мощности 2 кВт, тогда как при использовании HPP достаточны заходы 1 мм для металлов толщиной до 6 мм.

- Экономия затрат на материал для толстых металлов. Традиционно: коэффициент использования материала до 42% при расстоянии между деталями 5 мм, с HPP: коэффициент использования материала до 56% при расстоянии между деталями 1,6 мм (рис. 2).

www.ipgphotonics.com/en/

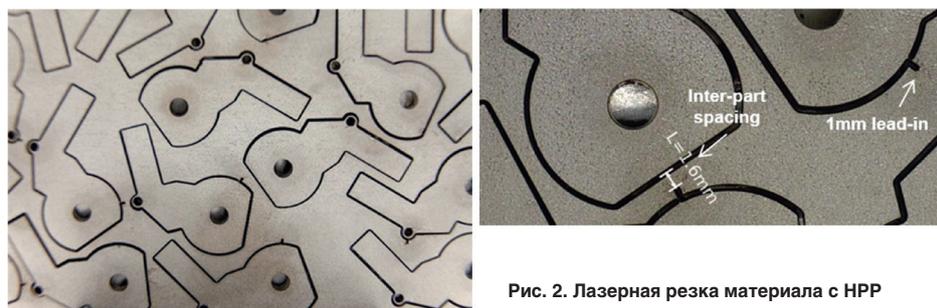


Рис. 2. Лазерная резка материала с HPP



**МЫ ГАРАНТИРУЕМ
НАДЕЖНЫЙ ЗАЖИМ**



«Коллеги, ноль должен быть неподвижным»

Системы зажима с нулевой точкой от AMF позволяют снижать вспомогательное время на 90%. Таким образом, существенно увеличивается машинное время обработки. Приступаем !

Запрашивайте наши решения по автоматизации производства.

ANDREAS MAIER GmbH & Co. KG
Fellbach (Germany)



Еще сегодня запросить
бесплатный каталог

www.amf.de

КЕМРРИ РАБОТАЕТ ВДОЛГУЮ



За свою долгую журналистскую историю не припомню случая, чтобы конференцию промышленной компании открывал посол страны, откуда эта компания родом. Но именно так произошло на онлайн-конференции «Будущее сварки уже наступило!», которую организовала компания Kemppi. Господин Микко Хаутала (Mikko Hautala), чрезвычайный и полномочный посол Финляндии в России, в своем выступлении назвал инновационность главной характеристикой Kemppi — одной из 900 финских компаний, присутствующих на российском рынке.

СЛОВО ЭКСПЕРТУ

«Сегодня слово «кемпи» для сварки — как слово «ксерокс» для любых множительных аппаратов и слово «джип» для всех внедорожников». Такими словами определила положение бренда Kemppi на рынке сварочного оборудования Евгения Дмитриева, генеральный директор «Кемпи Россия». Но важнее то, что Kemppi — это не только лидирующий на рынке бренд, но и большая аналитическая работа, которой компания поделилась на конференции с отраслевым сообществом.



Управляющий директор Kemppi Оу Вилле Вуори (Ville Vuori) в своем выступлении охарактеризовал перспективы развития в сфере сварочного оборудования, технологий и рынка в целом. Он разделил выявленные тренды на 3 категории.



Первое — это методы сварки и материалы. Здесь наблюдаются постоянные колебания в приверженности тем или иным методам. Иногда в каких-то странах механизированная сварка MIG/MAG «мигрирует» в сторону аргонодуговой сварки TIG и наоборот, и в то же время внедряются новые методы — гибридная сварка, плазма и так далее, но на долю ручной сварки электродом MMA в основном остается неизменной. На развитие сварочных технологий влияет развитие самих сварочных процессов, а также появление новых сварочных материалов. И чем сложнее материалы, тем больше нужно разных способов сварки. «Мы в сварке движемся от использования тока силой 400 ампер к 600 амперам, иногда используем даже 800 ампер, — делится опытом Kemppi Вилле Вуори.

Вторая категория — автоматизация, к которой подталкивает общая для всех проблема нехватки квалифицированных кадров, а также естественное для всех игроков сварочного рынка стремление повышать производительность.

Третья категория, о которой как-то не принято часто задумываться, — это воздей-

ствии регуляторов на сварочную отрасль. Еще недавно сварочное оборудование делили на любительское и профессиональное. В одном сегменте превалировал критерий цены, удешевления продукции, в другом — производительность, удобство в работе, возможность взаимодействия с другими видами оборудования. Сегодня деление идет по-другому: в одном сегменте нерегулируемые стандартами и регламентами процессы, где превалируют те же ценовые критерии, в другом сегменте — регулируемые процессы, где на первый план выходят рабочие характеристики, качество, прослеживаемость процесса, производительность, удобство в работе, безопасность. Но даже среди тех, для кого сварка — хобби, возрастают требования к качеству, безопасности и производительности.

Сварка в регулируемой среде рассматривается в трех координатах — производство, безопасность, сварочный шов как таковой. Что касается производства, то здесь постоянно возрастают требования к сопутствующим «формальностям»: технологические карты по сварке, сертификаты качества, кроме того, нарастает влияние требований властей, производителей и отраслевых требований. В качестве примера Вилле Вуори привел мостостроение. Там настолько критичны требования к сварочному производству, что должен быть задокументирован каждый сварочный шов — кто и когда варил, а потом всё должно быть представлено в полном пакете документации по проекту. В свою очередь, эти требования к формализации являются движущей силой цифровизации сварки. Для этого нужно иметь не только программы управления сварочным производством, но и оборудование, которое способно быть интегрировано в умное производство, где всё оцифровано.

Другой тренд, который можно без преувеличения назвать глобальным мегатрендом, состоит в возрастании требований к безопасности работающего. В целом обеспечение безопасности складывается из трех составляющих: маска; использование горелок с принудительным отводом дыма; специальные вытяжные системы вентиляции, гарантирующие чистый воздух на всем производстве. Многие предприятия устанавливают очень высокие стандарты, направленные за защиту сварщиков. В сегодняшней мировой индустрии высочайший класс маски — ТН 3. Таковы маски сварщиков от Kemppi. Это означает, что извне в дыхательную систему сварщика может попасть только 0,2% окружающей атмосферы, не прошедшей фильтрацию. Совершенно неожиданно COVID-19 дал возможность почувствовать

такой уровень защиты масок Kemppi, который значительно превосходит уровень требований к защите от опасного вируса. И уже совершенно очевидно, что коронавирусу не только потребуют повысить требования к безопасности сварщика, но и интенсифицирует поиск технологий удаленного управления сварочным производством.

И наконец, когда речь идет о сварочном шве, то здесь движущей силой, как говорит Вилле Вуори, является материаловедение. Чем больше используется новых материалов, тем больше факторов нам необходимо учесть, чтобы обеспечить качественную сварку. Например, коррозионностойкие стали имеют в своем составе фосфор, и его поведение, его свойства обязательно надо учитывать при сварке. Для производителей сварочного оборудования это означает постоянную работу в сварочной лаборатории по точной настройке свойств дуги. «Мы также постоянно изучаем материалы, которые применяются при изготовлении собственного оборудования, — рассказывает Вилле Вуори. — Например, чтобы обеспечить износостойкость, надежность и долговечность контактного наконечника горелок, которые работают при токах высокой силы, нам необходимо применять самые передовые материалы для изготовления этих, казалось бы, расходных материалов, которые используются на производстве в очень больших количествах». Неослабного внимания требуют также новые типы электронных компонентов, потому что это основа максимально точного контроля сварочной дуги.

Участников конференции интересовал вопрос, как пандемия повлияла на организацию производства Kemppi, на способность осуществлять доставку. Вилле Вуори рассказал, что когда только все началось, менеджмент компании предположил, что могут возникнуть задержки поставок комплектующих. Тогда компания где только можно оперативно подключила альтернативные

каналы поставок, нарастила складские запасы компонентов и в результате практически никак не ощутила изменений в производстве сварочных аппаратов. Нынешнюю ситуацию от докризисной отличает только то, что пришлось внедрить много дополнительных мер безопасности сотрудников.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЛИ КАСТОМИЗАЦИЯ?



Роберт Уразов, директор союза «Ворлдскиллс Россия», сказал, что движение WorldSkills более всего заботит то, чтобы люди оставались конкурентоспособными. А что касается сварочного производства, то оно развивается в русле глобальных трендов — автоматизация, сетевизация, цифровизация, возникновение новых материалов. Автоматизация

ведет к тому, что станочник перестает быть станочником в привычном смысле этого слова, он становится оператором станка с ЧПУ. Аналогичная ситуация, по словам Уразова, происходит со сваркой, которая требует от сварщика новых навыков. Но врезрез автоматизации усиливается тренд на кастомизацию, где требуются нетиповые операции, принятие нестандартных решений. «Это будет тот же самый привычный нам сварщик, но требования к его квалификации резко повысятся, — говорит Уразов. — Во-первых, он должен будет обладать практически инженерными навыками. Во-вторых, он должен уметь работать на более сложном оборудовании, доступ к лучшим образцам которого дает Kemppi».

Зинаида Сацкая



ТЕРМООБРАБОТКА

14 Международная специализированная выставка

15 - 17 сентября 2020

Россия, Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7

Единственная в России выставка термического оборудования и технологий




Основные разделы:

- Термическое и химико-термическое оборудование
- Промышленные печи, сушильные шкафы
- Индукционное оборудование
- Жаропрочная оснастка
- Вакуумная техника и компоненты вакуумных систем
- Огнеупоры, теплоизоляция и футеровка тепловых агрегатов
- Изделия из графита, углеродного волокна и углерод-углеродных композитов
- Установки нанесения покрытий
- Диагностическое и измерительное оборудование

Факты о выставке 2019 года: 80 экспонентов из 10 стран мира: Россия, Германия, Италия, Швеция, Испания, Австрия, Китай, Словения, Франция, Швейцария, 3022 кв. м экспозиции, 2830 посетителей-специалистов.















Бронь стендов и пригласительные билеты на www.htexporus.ru

Организатор:
 Мип-Экспо







Станок МРМС был спроектирован по спецификации заказчика для полного цикла обработки валков (фото: Weingärtner)

ИНДИВИДУАЛЬНО ПОДОБРАННЫЙ РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ТЯЖЁЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Weingärtner Maschinenbau, как и CERATIZIT GROUP, работают в сфере тяжёлого машиностроения не один десяток лет, поэтому неудивительно, что компании начали тесно сотрудничать в данной области. Показательным примером такого сотрудничества стал недавний проект по полному циклу обработки валка с закалённой поверхностью.

Интенсивная модернизация в высокотехнологичных отраслях Азии, таких как автомобильная, аэрокосмическая и машиностроительная, привела к тому, что местные производители станочного оборудования работают на пределе своих возможностей. Разрыв между спросом на рынке и имеющимся предложением в высокотехнологичном секторе экономики невозможно закрыть за счёт местных производителей, в связи с чем потребителям приходится смотреть в сторону импортного оборудования. В настоящее время практически половина всех заказов из Восточной Азии — это заказы на индивидуальные станки специального назначения, включая решения «под ключ». Тем временем спрос продолжает расти.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ СТАНКОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ТЯЖЁЛОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

В сложившихся рыночных условиях Weingärtner Maschinenbau становится наиболее логичным выбором для клиентов со всего мира. Являясь производителем специальных станков с головным офисом в Кирххаме (Австрия), компания предлагает готовые обрабатывающие решения, выполненные по спецификации заказчика, для нефтегазовой, насосной промышленности, производства и переработки пластмасс, а также энергетики и тяжёлого машиностроения. Группа компаний Weingärtner за все эти годы с самого своего основания в 1965 году, сформировав профессиональную команду из 620 сотрудников, накопила огромный опыт в обработке крупногабаритных деталей. Технологические возможности по высо-

коточной обработке на специальных станках позволяют клиентам компании поставлять коленчатые валы для дизельных двигателей, валки для сталелитейной и целлюлозно-бумажной отраслей, шнеки экструдеров для пластмассовой индустрии и валы для турбин и стационарных электростанций по всему миру.

МНОГООБЕЩАЮЩЕЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Как поставщик готовых решений для тяжёлого машиностроения, Weingärtner предлагает заказчикам индивидуально разработанные станки и программное обеспечение, технологии, отвечающие потребностям конкретной области применения, консультирование и обучение, а также глобальную сервисную поддержку: другими словами, полный комплект «под ключ». Такого же подхода придерживаются наши технологические партнеры, в частности компания CERATIZIT. Узкоспециальные знания, которыми обладают эти компании, делают их идеальными партнёрами друг для друга. Начало сотрудничества между Weingärtner и CERATIZIT было положено в 2012 году, и к настоящему времени компании построили успешные отношения на основе принципов доверия и надёжности.

ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ С ТВЁРДОСТЬЮ МАТЕРИАЛА 85 ПО ШОРУ

Одним из последних примеров такого успешного сотрудничества был крупный проект, в рамках которого клиент хотел заменить линию для производства валков из 4 станков на один многофункциональный станок. При этом шлифование планировалось выполнять, как и раньше, на отдельном станке. Одной из сложностей, с которой пришлось столкнуться, была обработка материала валка, выполненного методом центробежного литья и имеющего твердость до 85 единиц по Шору. Толщина внешнего рабочего слоя валка составляет от 50 до 90 мм, а оставшаяся часть валка, то есть материал сердцевины, гораздо

мягче — с твердостью 38–45 по Шору. Помимо прочего на шейках валка нужно обрабатывать посадочные места под подшипники и приводные концы. Такое сочетание твёрдого и мягкого материала требует использования разного режущего инструмента из нитрида кремния, комбинированной керамики, карбидов и эльбора. Всё это разнообразие есть в ассортименте компании CERATIZIT. В зависимости от типа валка комплексная технология обработки подразумевает широкий спектр операций, таких как токарная обработка, нарезание канавок, фрезерование, сверление, расточка и нарезание резьбы.

КОНЦЕПЦИЯ МЕХОБРАБОТКИ ПРЕДОПРЕДЕЛЯЕТ ДИЗАЙН СТАНКА

Станки серии МРМС (многоцелевые обрабатывающие центры) компании Weingärtner, специально разработанные для такой области применения, представляют собой горизонтальные токарно-фрезерные центры, на которых можно обрабатывать заготовки диаметром до 2000 мм, длиной до 15 м и весом до 80 тонн. В нашем примере максимально допустимый вес заготовки для каждого из двух обрабатывающих центров составляет 20 тонн. Благодаря токарно-фрезерной голове и обрабатывающим узлам с механизмом автоматической



Два устройства загрузки с ЧПУ-управлением предназначены для установки и снятия валков (фото: Weingärtner)

смены сложные детали можно выполнять на одном станке и с высокой производительностью. В зависимости от типа операции задействуется один из узлов: расточки, трохоидального фрезерования, зубофрезерования или глубокого сверления. Обрабатывающий центр МРМС для производства валков отличается тем, что в нём предусмотрено два вспомогательных устройства для загрузки заготовки и подвижный люнет — всё это с числовым управлением. Другой особенностью, непосредственно влияющей на дизайн инструмента, является ось В. Благодаря её наличию угол наклона режущего инструмента и глубина реза непрерывно корректируются под текущие условия мехобработки, тем самым обеспечивая высокую скорость подачи и производительность операции. В свою очередь, ось Y позволяет расположить резец непосредственно над осью детали, что значительно повышает устойчивость инструмента.



Полный комплект инструментов для мехобработки валков был поставлен подразделением Heavy-Duty, ответственным за проекты тяжёлого машиностроения — в частности, за обработку валков в компании CERATIZIT (фото: Weingärtner)

КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВАЛКОВ

Высокая твёрдость материала и глубина резания до 20 мм — вот основные трудности, которые приходится решать при обработке валков. Свою роль также может сыграть неоднородность материала. Касательно собственно процесса мехобработки, первостепенное значение имеют длительность цикла обработки, срок службы и безопасность процесса. С учётом всех перечисленных факторов CERATIZIT подобрал готовый комплект инструментов для обработки таких деталей. В комплект входят инструменты для токарной обработки, вырезания канавок, фрезерования, нарезания резьб фрезерованием и метчиком, а также системы сверления — все инструменты от ведущих брендов подразделения Cutting solutions, а именно: CERATIZIT, KOMET, WNT и KLENK.

Для тяжёлой токарной обработки предлагаются режущие пластины LNMR 50, SCMT 38 и SN 25 с длиной резания 50 мм, 38 мм и 25 мм соответственно. Для нарезания канавок шириной от 16 до 60 мм предусмотрена система NX, с помощью которой можно получить нужный профиль на шейках, заплечиках или отдельных валках. На шейках есть участки, которым требуется фрезерование, а именно: радиус проточки и приводные концы. Для этих целей разработан инструмент серии AHDM для тяжёлой мехобработки и AHFC для высокоскоростной мехобработки, а также фрезы MaxiiMill A271 для торцевого и специального радиусного фрезерования. Данная фреза, оснащённая десятью пластинами, обеспечивает чрезвычайно высокую скорость подачи на зуб с малой глубиной реза для достижения исключительной производительности. На этом же участке для



Ось В обрабатывающего центра позволяет корректировать угол наклона под необходимую длину реза во время токарной обработки, тем самым повышая скорость подачи (фото: Weingärtner)



Фрезерование приводных концов при помощи системы торцевого фрезерования MaxiiMill A271 от CERATIZIT

финишной обработки приводных концов CERATIZIT использует концевые фрезы VHM и резцы CBN для чистового фрезерования. Инструмент для сверления от CERATIZIT может использоваться для обработки деталей диаметром до 155 мм, а для глубокого сверления максимальная длина обработки достигает 60xD. Этот диапазон обработки покрывается линейкой MaxiDrill MD90, которая включает в себя свёрла с механическим креплением многогранных режущих пластин для диаметров от 12 до 63 мм и цельные инструменты из карбида для отверстий меньшего диаметра. Возможно также изготовление резьб до M2 для деталей весом до 18 тонн.

ГОТОВНОСТЬ К НОВЫМ ПРОЕКТАМ

Обрабатывающие центры тем временем прошли предварительную приёмку. Теперь станки разберут и отправят в пункт назначения для монтажа у заказчика и окончательной приёмки с участием специалистов компаний Weingärtner и CERATIZIT. Обе компании единодушны во мнении, что комплексный, ориентированный и профессиональный сервис имеет первостепенное значение для региональных рынков. Особенно это справедливо в отношении поставщиков готовых решений для тяжёлого машиностроения, которые стремятся расширить географию и объёмы своих поставок. В конце концов, возможности для этого на рынке есть.

Контактная информация

CERATIZIT Deutschland GmbH

Норберт Штаттлер \ Даймлерштрассе 70 \
D-87437 Кемптен
Тел.: +49 831 570103405
E-mail: norbert.stattler@ceratizit.com
Веб-сайт: www.ceratizit.com

Weingärtner Maschinenbau GmbH

Катарина Кастнер \
A-4656 Кирхам \ Кирхам 29
Тел.: +43 7619210315
E-mail: K.kastner@weingartner.com
Веб-сайт: www.weingartner.com

Опубликовано от имени:

CERATIZIT Deutschland GmbH

Маркетинг \ Связи с общественностью
Даймлерштрассе 70 \
87437 Кемптен \ Германия
Тел.: +49 831 57010-3405
Факс: +49 831 57010-3649
E-mail: Norbert.Stattler@ceratizit.com
www.ceratizit.com



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

ПРОБЛЕМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ СОВРЕМЕННЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ЗАДАЧИ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ В СОВРЕМЕННОМ МАШИНОСТРОЕНИИ ТРЕБУЮТ УЧИТЫВАТЬ НЕ ТОЛЬКО СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА, НО И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ, КОТОРЫЕ ДИКТУЮТ СУЩЕСТВЕННЫЕ ПОПРАВКИ В ТЕХНОЛОГИЮ. МЫ РЕШИЛИ НАЗВАТЬ ТАКУЮ СИТУАЦИЮ «РЕЗАНИЕ В УСЛОВИЯХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ». В СТАТЬЕ ПРИВЕДЕНА КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ ОГРАНИЧЕНИЙ И РАССМОТРЕНЫ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПРИМЕРЫ.

Современное машиностроение, в первую очередь производство летательных аппаратов, делает актуальным использование материалов и конструкций, обеспечивающих оптимальный баланс прочности и веса. Обратной стороной такого подхода является необходимость решения задачи резания заготовок и обработки за один проход поверхностей сборочных единиц, сочетающих в себе несколько различных материалов, а также обработки примененных конструкций с неблагоприятными для резания свойствами.

К таким свойствам можно отнести ограничения по температуре при резании (например, из-за использования клея), пониженную жесткость в направлении подачи инструмента, невозможность применения СОТС и ряд других.

Таким образом, наряду с обычными для резания проблемами подбора режимов обработки и геометрии режущего инструмента как функции свойств обрабатываемого материала появляются проблемы, вытекающие скорее из конструкции деталей, чем из материала как такового. В отношении резания «композиционный материал» — это также конструкция, а не заготовка из однородного материала.

Представим условное разделение задач, стоящих перед резанием, на схеме **рис. 1**.

Первая группа — традиционное резание. Здесь основное влияние на процесс оказывают физико-механические свойства обрабатываемых заготовок. Это условия, при которых оптимизация процесса резания происходит за счет подбора инструментальных материалов, режимов и геометрии инструмента.

Вторая группа — резание в условиях преобладания дополнительных ограничений, когда наряду с влиянием физико-механических свойств самого обрабатываемого материала появляются (включаются) дополнительные условия, которые становятся определяющими и оказывают большее влияние на протекание процесса резания.

Данные дополнительные условия можно также разделить на две подгруппы:

— ограничения, которые накладывает конструкция заготовки, например, по температуре в зоне обработки, по усилиям в зоне резания, определяемым жесткостью заготовки, возможностью применения СОЖ и др.;

— ограничения, вызванные сочетанием обрабатываемых материалов в заготовке. Такие ограничения накла-



Рис. 1. Условия резания и накладываемые на них ограничения

Матрица резания

Условия резания	Материалы	1) Металлы	2) Неметаллы	3) Многослойные конструкции
1) определяемые физико-механическими свойствами материала заготовки, оптимизируемые: 1.1 – по производительности; 1.2 – по стойкости; 1.3 – по стоимости.		Сочетание 1.1.	Сочетание 1.2.	Сочетание 1.3.
2) стационарные, дополнительно ограниченные по условиям обработки: 2.1 – применению оптимальных режимов МО; 2.2 – жесткости; 2.3 – температуре; 2.4 – применению СОЖ		Сочетание 2.1.	Сочетание 2.2.	Сочетание 2.1.
3) переменные, ограниченные по: 3.1 – твердости; 3.2 – жесткости.		Сочетание 3.1.	Сочетание 3.2.	Сочетание 3.1.

дываются при обработке композитных материалов, когда в зону резания в одном материале одновременно попадают наполнитель и связующая с сильно отличающимися свойствами. Также такие ограничения могут быть наложены обработкой материалов с разными физико-механическими свойствами в пределах одного перехода.

На наш взгляд, условия резания с существенным влиянием дополнительных ограничений на сегодняшний момент получили достаточно большое распространение, чтобы говорить о них как о самостоятельном направлении, в силу двух обстоятельств:

- востребованность легких, прочных, биорадиационно стойких и герметичных конструкций, применяемых в летательных аппаратах;

- бурное развитие аддитивных технологий, связанный с ними биодизайн и, как следствие, получение конструкций сложной пространственной формы, требующих последующей обработки резанием.

Перечисленные технологии на данном этапе развития не всегда могут обеспечить в деталях и сборочных единицах необходимую точность формы и шероховатость без финишной (окончательной) механической обработки.

Данные обстоятельства — конструктивное и технологическое — привели к тому, что направление обработки резанием при существенных дополнительных ограничениях на сегодняшний момент стало достаточно развитым и получает все более широкое применение.

Шпангоут

Задача:

сложноконтурная механическая обработка на семикоординатном фрезерном обрабатывающем центре и токарно-карусельная обработка с ЧПУ

Заготовка:

кольцо сплава Ti BT8 $\sigma_{\text{вп}} = 930\text{--}980$ МПа



Рис. 3. Условия резания, определяемые физико-механическими свойствами обрабатываемого материала

Виды ограничений, возникающие при механической обработке изделий в сочетании с обрабатываемыми материалами, представлены в виде матрицы на рис. 2.

В соответствии с представленной классификацией условия резания могут быть разделены на следующие группы:

- *традиционные*, определяемые физико-механическими свойствами материала заготовки и оптимизируемые по производительности, стойкости, стоимости и т.п.;

- *стационарные*, имеющие существенные дополнительные ограничения по условиям резания, такие, где область применения оптимальных режимов механической обработки имеет ограничения жесткости заготовки, из-за температуры в зоне резания, возможности применения СОЖ и т.п.;

- *переменные*, имеющие существенные ограничения из-за твердости обрабатываемого материала, жесткости заготовки, которые изменяются в процессе резания за один проход.

Данные условия резания рассмотрены применительно к механической обработке заготовок из металлов, неметаллов и многослойных конструкций, сочетающих различные типы материалов.

На пересечении возникают задачи, решаемые при проведении механической обработки данного типа материалов в условиях одного из трех типов ограничений.

Рассмотрим описанные задачи на примерах.

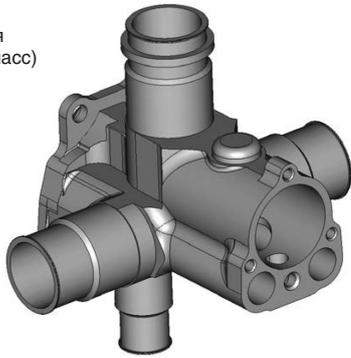
Сочетание 1.1 — пример, когда условия резания определяются физико-механическими свойствами титанового сплава BT-8 (рис. 3). При изготовлении детали «шпангоут» выполняются три типа операций: токарно-карусельная с ЧПУ, фрезерная с ЧПУ, в рамках которой проводится расточная обработка, сверление отверстий, резьбонарезание и слесарная обработка. В данном случае проблемы резания определяются только проблемами резания титанового сплава. Дополнительных ограничений, например по жесткости, температуре, применению СОЖ, не возникает.

Примером **сочетания 2.1** является механическая обработка корпуса клапана из алюминиевого сплава АМГ6 (рис. 4), при которой накладываются дополнительные стационарные ограничения по скорости резания, связанные с конструкцией детали. При токарной обработке

Корпус клапана

Проблемы:

конструкция изделия (дисбаланс центра масс) вносит коррективы при выборе режима обработки



Алюминиевый сотовый наполнитель в растянутом состоянии

Проблемы:

Оптимизация режимов механической обработки с учетом ограничений по жесткости конструкции.

Обработка алюминиевого сотового наполнителя в растянутом состоянии:
— точение;
— объемное фрезерование.

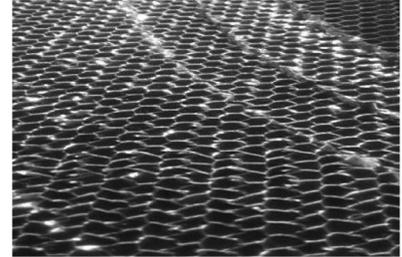


Рис. 4. Стационарные условия резания с дополнительными ограничениями по конструкции заготовки

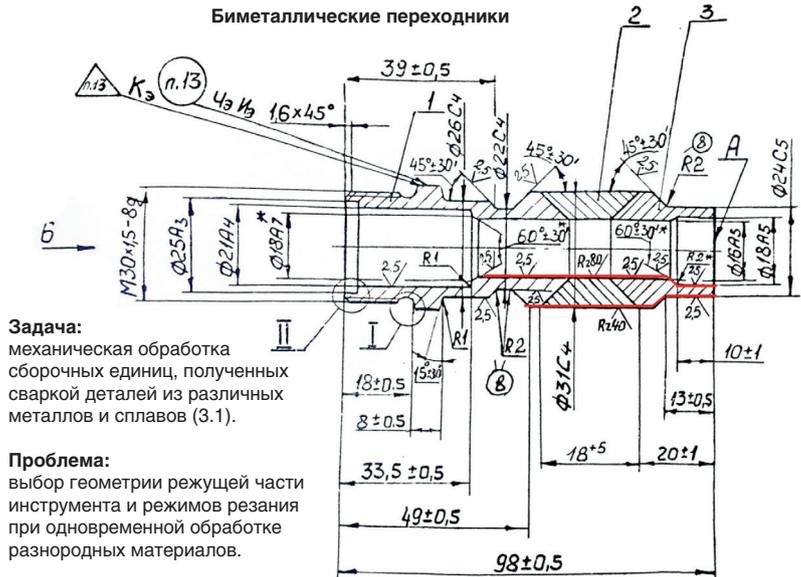
внутренних поверхностей заготовки данной конфигурации возникает дисбаланс, не позволяющий установить оптимальную скорость резания. Приспособления, компенсирующие такой дисбаланс, в единичном производстве практически не применяются из-за резкого роста затрат как на изготовление, так и на хранение.

Другим примером этого же сочетания является обработка алюминиевого сотового наполнителя (рис. 5), которую необходимо проводить в растянутом состоянии для обеспечения требуемых форм деталей. В данном случае наибольшее ограничение на условия механической обработки, как токарно-карусельной, так и объемного фрезерования, вносит высокая жесткость конструкции.

Механическая обработка биметаллических переходников наглядно характеризует переменные ограничения, существенно влияющие на условия резания (рис. 6), и является примером сочетания 3.1. Показанный переходник состоит из трех частей: нержавеющая сталь — алюминиевый сплав — титановый сплав. Обработку наружной и внутренней поверхностей необходимо проводить за один проход. Налицо переменные ограничения на условия резания из-за различных физико-математических свойств материалов, при которых режимы резания для обработки каждого из них в отдельности различны.

Обработку резанием неметаллических материалов предлагается рассмотреть в том же ключе, что и обработку металлов. Примером сочетания 1.2, который характеризует традиционное резание, при котором условия механической обработки определяются физико-механическими свойствами материала, является обработка неметаллических панелей (рис. 7). Они изготовлены из однородного по структуре сверхтвердого композиционного материала с неизменными свойствами по жесткости и твердости. Соответственно, режимы резания определяются только свойствами данного материала.

Рис. 5. Стационарные условия резания с дополнительными ограничениями по жесткости конструкции заготовки



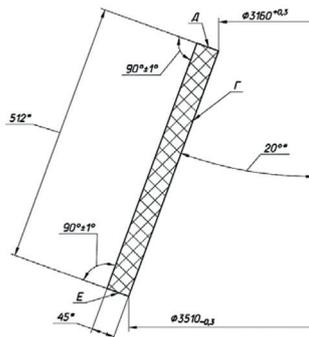
Задача:
механическая обработка сборочных единиц, полученных сваркой деталей из различных металлов и сплавов (3.1).

Проблема:
выбор геометрии режущей части инструмента и режимов резания при одновременной обработке разнородных материалов.

Материалы:
поз. 1 — нержавеющая сталь;
поз. 2 — алюминиевый сплав;
поз. 3 — титановый сплав.

Рис. 6. Стационарные условия резания с дополнительными ограничениями по твердости обрабатываемого материала.

Неметаллические панели отсеков летательных аппаратов



Задача:

механическая обработка неметаллических панелей отсеков летательных аппаратов

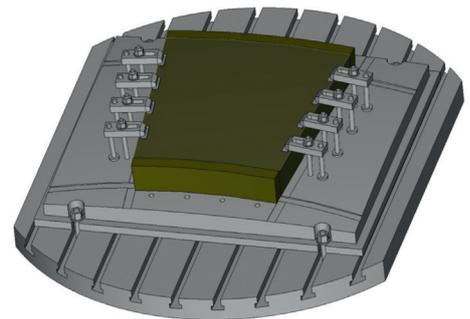


Рис. 7. Условия резания, определяемые физико-механическими свойствами материала, — неметаллы

В качестве иллюстрации сочетания 2.2 можно представить резание неметаллов в условиях дополнительных, но постоянных ограничений; рассмотрим точение углеродистой обечайки наружного контура формообразующей оснастки корпуса изделия. Здесь на процесс резания накладываются стационарные ограничения:

— нежесткость конструкции в радиальном направлении, дисбаланс по массе, что приводит к возникновению ударных нагрузок, невозможности обеспечения скорости резания, которая дала бы такое

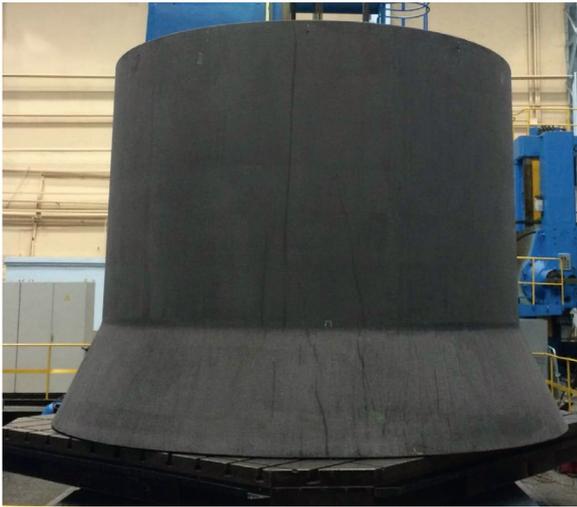


Рис. 8. Механическая обработка формообразующей оснастки корпуса в стационарных условиях резания с дополнительными ограничениями

же высокое качество поверхности и производительность, как при точении абсолютно жесткой заготовки из этого же композиционного материала (рис. 8; рис. 9а, 9б);

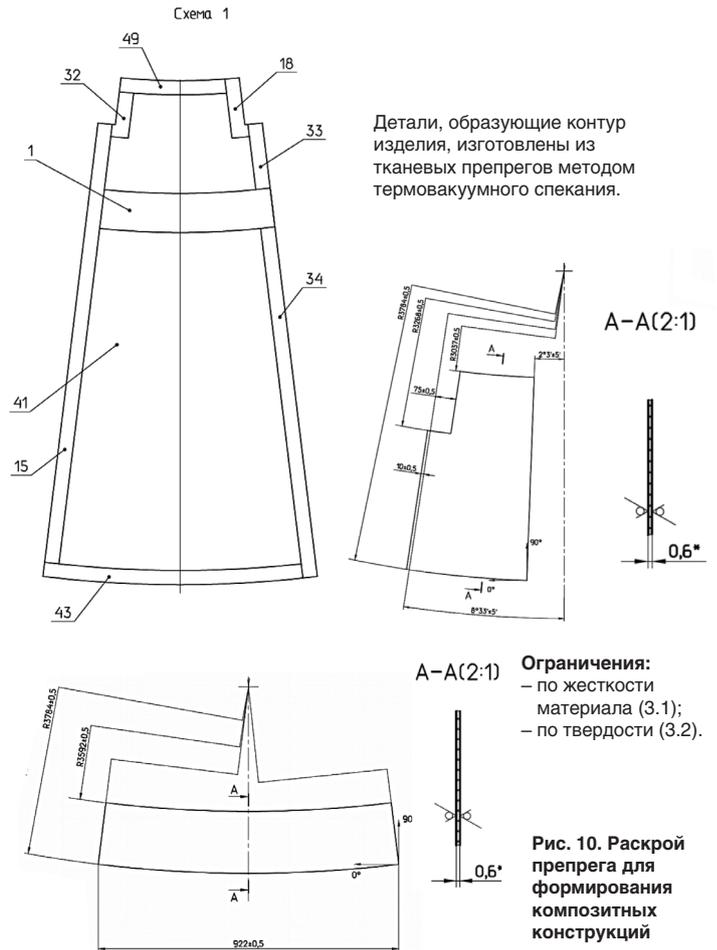
— обрабатываемый материал не допускает проведения механической обработки с использованием СОЖ и имеет ограничения по температуре в зоне обработки, что влияет на режимы резания;

— стружка в виде мелкодисперсной абразивной пыли является причиной повышенного износа режущей кромки инструмента, их частая смена приводит к возникновению дополнительных погрешностей на поверхности обрабатываемого материала;

— большая длина пути резания в комплексе с предыдущими ограничениями обеспечивают дополнительные погрешности на поверхности обрабатываемого материала из-за частой смены режущего инструмента.

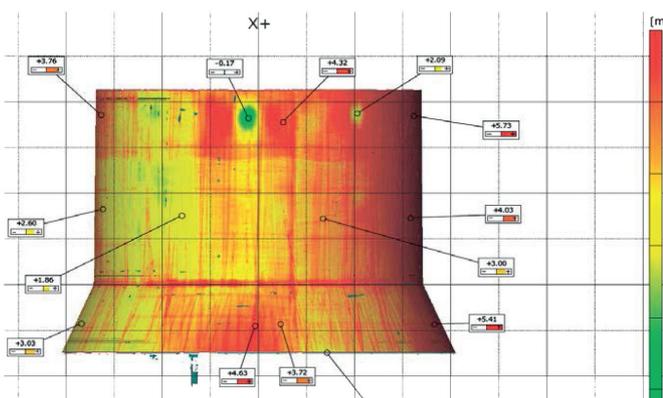
Множество конструкций из композиционных материалов изготавливаются из тканевых препрегов. Детали из препрегов механически обрабатываются и соединяются методом термовакuumного спекания.

Панель аэродинамической оболочки

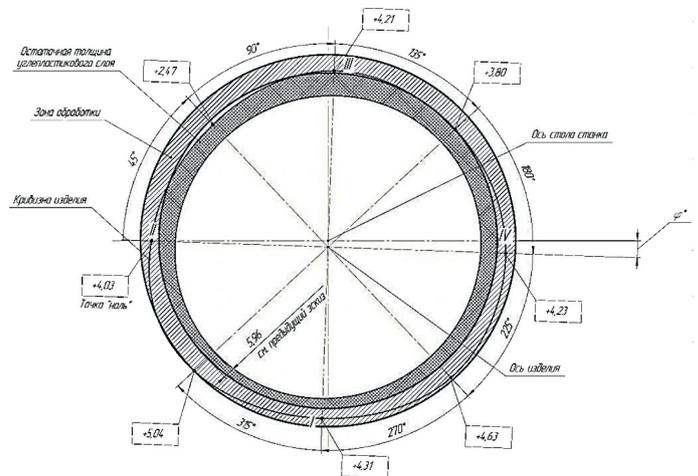


Раскрой, вырезка, подгонка данных материалов является примером **сочетания 3.2** — резания в условиях сильно переменных ограничений по жесткости и твердости обрабатываемого материала из-за их свойств (рис. 10).

Механическая обработка элементов клепаных корпусов — многослойных конструкций из алюминиевых сплавов является примером **сочетания 1.3** — обработки резанием, при котором сам материал, несмотря на многослойность, оказывает

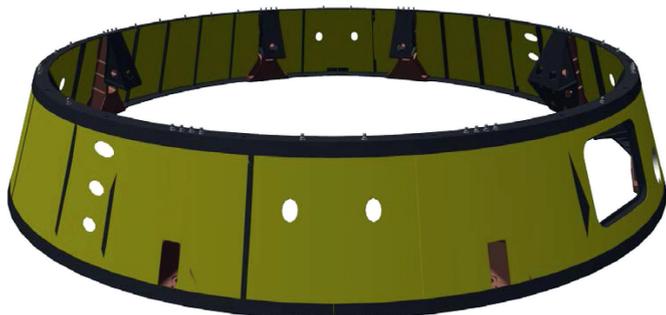


а) Фотометрия поверхности выложенной заготовки для механической обработки



б) Получение механической обработки при выставлении оснастки на столе станка

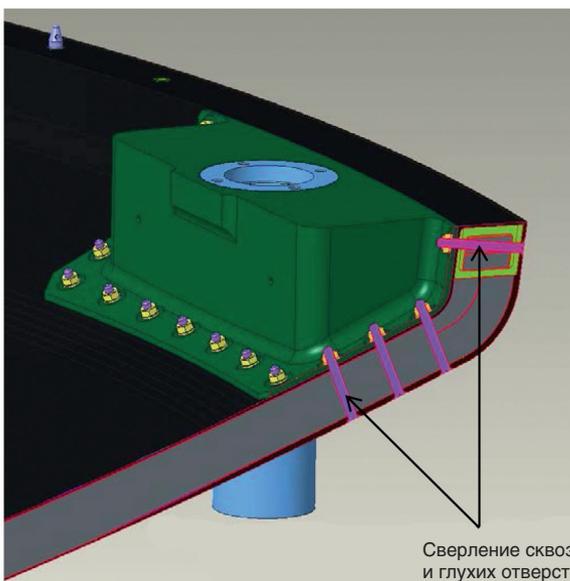
Рис. 9. Проблемы проведения механической обработки формообразующей оснастки корпуса в стационарных условиях резания с дополнительными ограничениями



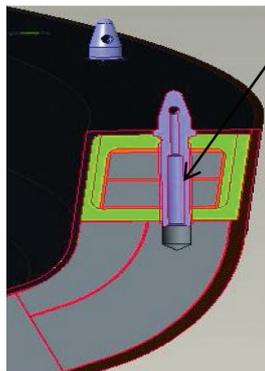
Задачи:

- обработка привалочных поверхностей;
- обработка стыковочных отверстий.

Рис. 11. Клепанные корпусные конструкции летательных аппаратов



Сверление сквозных и глухих отверстий в многослойных конструкциях



Обработка резьбовых отверстий в СКМ

Задачи:

- сверление сквозных и глухих отверстий (через несколько видов материала);
- нарезание и контроль резьбы в композитных материалах.

Рис. 13. Обработка отверстий в многослойных конструкциях

Обработка торцов сотовых панелей



Тип соединения деталей — клеевое

Выполнение отверстий во вклеенных бобышках сотовых панелей

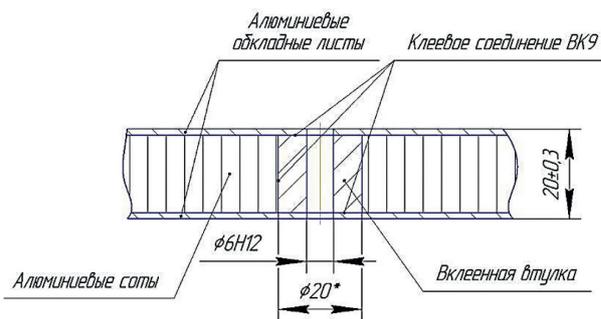


Рис. 12. Стационарные условия резания с дополнительными ограничениями — многослойные конструкции.

большее влияние, чем сама многослойность, на выбор режимов обработки. В данных случаях предел прочности конструкции сопоставим с пределом прочности материала ее элементов (рис. 11).

В наше время нашли широкое применение многослойные конструкции «металл + неметалл», например, каркасные сотовые панели с обкладными листами из композитного материала или алюминиевого сплава, обработку резанием которых мы относим к **сочетанию 2.3**. При выполнении отверстий в закладных элементах (вклеенные бобышки) именно многослойность, а в частности наличие слоев клея, сформируют следующие стационарные ограничения, которые будут влиять на процесс резания (рис. 12):

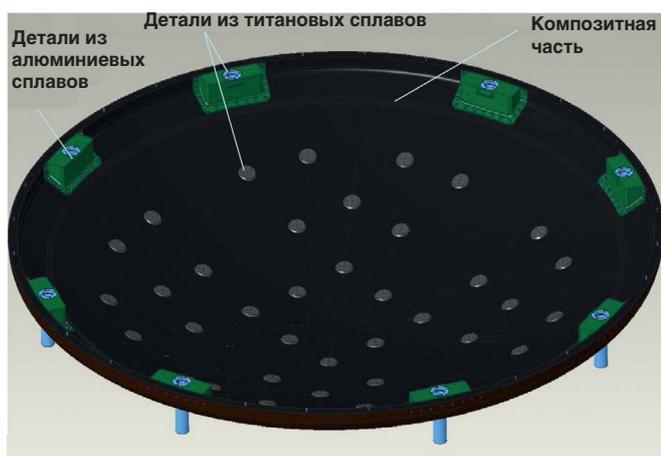
- по усилиям резания (моменту);
- температурному воздействию на клеевое соединение;
- по невозможности применения стандартных СОЖ.

При этом резание материалов за один проход требует применения различных режущих инструментов и режимов резания.

При механической обработке элементов аналогичных конструкций, например выполнение гладких и резьбовых отверстий, также могут накладываться ограничения и при переменных условиях резания.

Примером **сочетания 3.3** может служить механическая обработка элементов корпусных конструкций из различных видов материалов. В процессе резания необходимо также учитывать ограничения: по усилиям резания (моменту и осевой силе); температурному воздействию на клеевое соединение; по невозможности применения СОЖ (рис. 13).

Так как такие конструкции подразумевают наличие разнородных материалов, подлежащих механической об-



Обработка сотового заполнителя в растянутом состоянии совместно с вклеенными металлическими бобышками

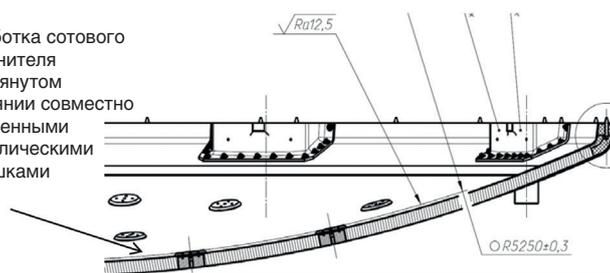


Рис. 14. Одновременная обработка деталей из материалов различной твердости и прочности в составе корпусных конструкций летательных аппаратов

работке: каркас со шпангоутом из композитных материалов, фитинги из алюминиевого сплава, втулки из титанового сплава, это формирует дополнительное переменное ограничение, определяемое различной твердостью и жесткостью обрабатываемых материалов, которое необходимо учитывать при назначении режимов резания (рис. 14).

Перечисленные примеры подтверждают, что помимо существующих традиционных подходов к назначению режимов резания, опирающихся на физико-механические свойства обрабатываемых и инструментальных материалов, необходимо учитывать, что конструкции современ-

ных изделий часто состоят из композиции различных материалов, условия резания могут быть как постоянными, так и переменными и требуют учитывать ограничения, определяемые конструктивными особенностями, габаритами, жесткостью, твердостью обрабатываемых материалов, допустимой температурой в зоне резания, невозможностью применения классических СОЖ.

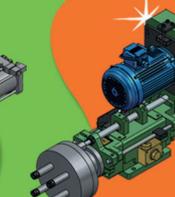
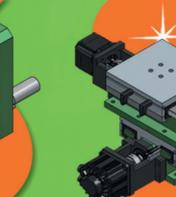
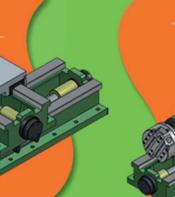
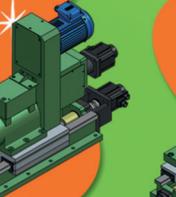
С.Ю. Шачнев, С.А. Солодилов
 ЗАО «Завод экспериментального машиностроения»
 РКК «ЭНЕРГИЯ»



HANN KUEN MACHINERY AND HARDWARE

Шпиндели для сверления, фрезерования, нарезания резьбы

www.hardy-tw.com

 Дрель с сервоприводом / резьбарезная головка	 Центровальный шпindelь / фланцевый тип	 Серводрель / резьбарезная головка фланцевого типа	 Шпиндельная головка со встроенным электродвигателем	 Серводрель / резьбарезная головка	 KZY-осевая шпиндельная головка с сервоприводом
 Токарно-фрезерный шпindelь / с автоматическим разжатием инструмента	 Мультишпиндельная головка	 Линейные направляющие по XY-осям	 Центровальный шпindelь / подшипниковые направляющие	 Стол на линейных направляющих по осям XYZ + фрезервальная головка	 3-кулачковый шпindelь + слайд блок

HANN KUEN MACHINERY AND HARDWARE CO., LTD.
 No. 22, Liou Shun Rd., East District, Taichung City 401, Taiwan E-mail: hann.kuen@hardy.com.tw
 Tel.: +886-4-2486-0602 Fax: +886-4-2486-0605 Skype: hann.kuen http://www.hardy-tw.com


 ISO 9001


 8745





СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

ОТВЕРСТИЯ МАЛОГО ДИАМЕТРА ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ВО МНОГИХ ДЕТАЛЯХ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН И ИХ АГРЕГАТОВ. НАПРИМЕР ЛОПАТКАХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН, КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЯХ ТУРБИНЫ И КАМЕРЫ СГОРАНИЯ, В ФОРСУНКАХ И ФИЛЬТРАХ, ЭКРАНАХ, ДЕТАЛЯХ ГИДРО- И ПНЕВМОАГРЕГАТОВ (ЗОЛОТНИКИ, ПЛУНЖЕРЫ, ДРОССЕЛИ, ГИЛЬЗЫ И Т.Д.), ДЛЯ КОНТРОВКИ ДЕТАЛЕЙ КРЕПЕЖА И АРМАТУРЫ. ИХ ПОЛУЧАЮТ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ: РЕЗАНИЕМ (СВЕРЛЕНИЕ СВЕРЛАМИ МАЛОГО ДИАМЕТРА), ЛАЗЕРНЫМ И ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ, ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКОЙ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ, СТРУЙНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКОЙ И ДР. КАЖДЫЙ ИЗ ПЕРЕЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ИМЕЕТ СВОИ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ.

СВЕРЛЕНИЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Сверление на металлорежущих станках требует использования сверл малого диаметра. Получение и заточка таких сверл затруднительны. Кроме того, требуется специальное оборудование, обеспечивающее малые подачи. При глубоком сверлении возникают проблемы с выводом стружки из обрабатываемого отверстия и подводом СОЖ. Неизбежны заклинивания и поломка сверл с соответствующими трудоемкими операциями извлечения обломка из отверстия. Следует отметить, что сверление малых отверстий в труднообрабатываемых материалах практически невозможно. Сверлением получают отверстия малого диаметра в пластиках и других легкообрабатываемых материалах.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

В производстве авиационных двигателей и их агрегатов ЭЛО используют для получения отверстий и узких пазов в различных материалах (сталях, никелевых и титановых сплавах и др.). Диаметр прошиваемых отверстий зависит от толщины обрабатываемого материала.

Электронно-лучевое сверление отверстий имеет следующие основные преимущества:

- высокая скорость обработки;
- выполнение процесса в вакууме обеспечивает отсутствие окисления;
- малая зона термического влияния и отсутствие микротрещин;
- малая конусность отверстий;

Таблица 1

Толщина материала	0,05...5 мм
Диаметр отверстия	0,75...1,0 мм, угол наклона 20...90°
Точность обработки	± 0,025 мм, погрешность расположения ± 0,01 мм
Время обработки одного отверстия	0,1...5,0 мс
Форма отверстия	Коническое, цилиндрическое, колоколообразное
Производительность	1...2000 отв/с
Достижимое отношение глубины к диаметру	25:1
Материалы	Металлы и сплавы, неметаллы, включая керамику, кварц,сапфир и др.

— широкая номенклатура обрабатываемых материалов;

— электронный пучок (в отличие от лазерного) практически полностью поглощается мишенью, что обеспечивает возможность обработки материалов с высокой прозрачностью и большой отражательной способностью.

Технологические возможности электронно-лучевого сверления по данным фирмы Acceleron Inc. приведены в табл. 1.

На рис. 1, 2 и 3 приведены примеры, иллюстрирующие технологические возможности, а на рис. 4 — установка для электронно-лучевого сверления отверстий малого диаметра.

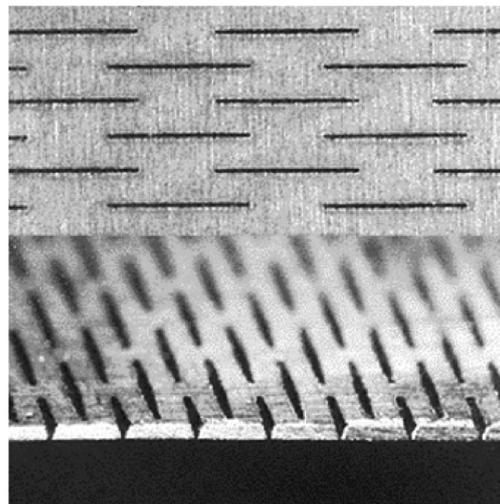


Рис. 1. Перфорированные пазы в фольге из нержавеющей стали толщиной 0,05...0,08 мм

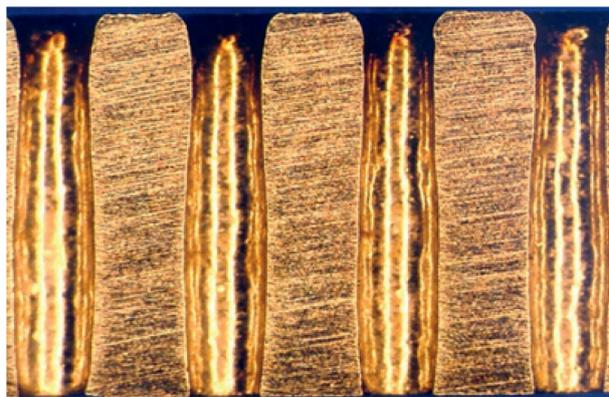


Рис. 2. Типичные отверстия диаметром 0,2 мм, полученные электронно-лучевым сверлением

Таблица 2

Обрабатываемый материал	Толщина детали, мм	Диаметр отверстия, мкм	Время прошивки отверстия, с	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток луча, мкА
Вольфрам	0,25	25	<1	140	50
Нержавеющая сталь	2,5	125	10	140	100
Нержавеющая сталь	1,0	125	<1	140	100
Алюминий	2,5	125	10	140	100
Керамика (Al ₂ O ₃)	0,75	300	30	125	60
Кварц	3,0	25	<1	140	10

Таблица 3

Обрабатываемый материал	Толщина детали, мм	Ширина реза, мкм	Скорость резки, мм/мин	Ускоряющее напряжение, кВ	Ток луча, мкА
Вольфрам	0,05	25	125	150	30
Нержавеющая сталь	0,175	100	50	130	50
Бронза	0,25	100	50	130	50
Алюминий	0,75	100	600	130	200

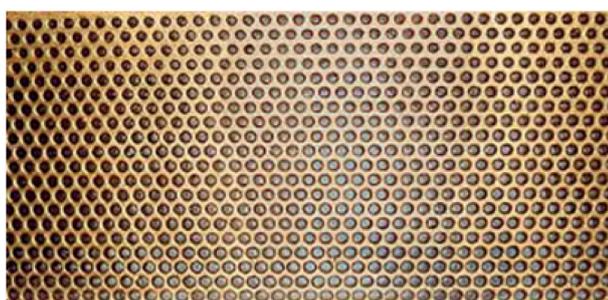


Рис. 3. Отверстия, полученные электронно-лучевым способом

Данные, иллюстрирующие технологические возможности ЭЛО по обработке отверстий и узких щелей, приведены в **таблицах 2 и 3**.

Для получения отверстий в фильтре (**рис. 5**), заготовка которого представляет собой цилиндр из листового материала, последняя устанавливается в специальное приспособление в вакуумной камере и приводится во вращение. Каждое отверстие может обрабатываться за один или несколько импульсов. В процессе непрерывного вращения заготовки с частотой 1...2000 импульсов в



Рис. 5. Фильтр из нержавеющей стали толщиной 1,5 мм с 350000 отверстиями диаметром 0,1 мм, полученными электронно-лучевым сверлением



Рис. 4. Установка для перфорирования электронным лучом фирмы Steigerwald с многокоординатным ЧПУ (высокоскоростной электронно-лучевой перфоратор)

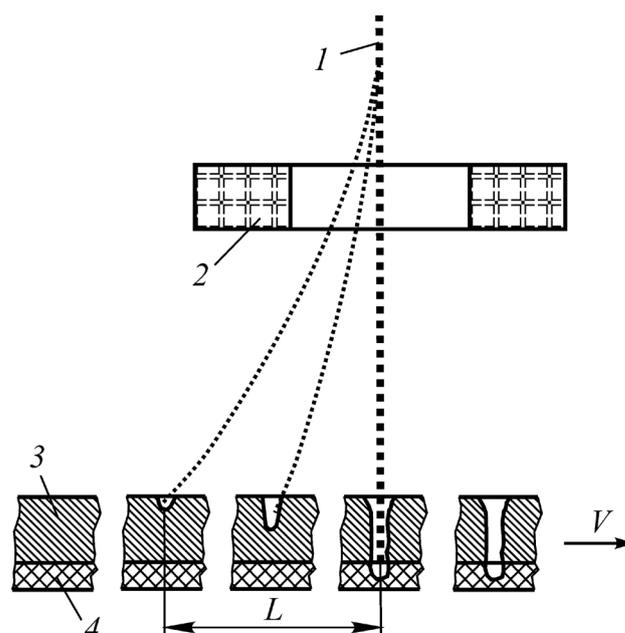
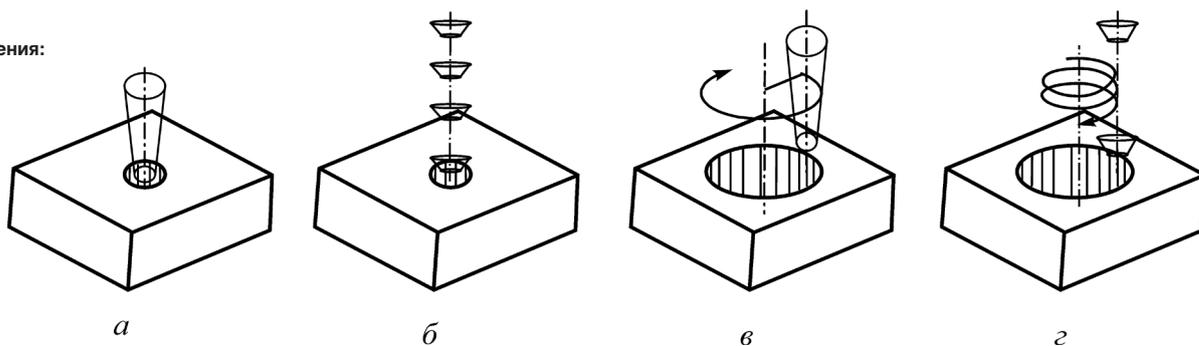


Рис. 6. Формирование отверстия при движении заготовки: 1 — электронный луч; 2 — отклоняющая система; 3 — заготовка; 4 — технологическая подложка

Рис. 7. Схемы лазерного сверления:
 а — прошивка единичным импульсом;
 б — импульсная прошивка;
 в — трепанация;
 г — винтовое «сверление»



секунду на нее воздействуют электронные пучки из электронной пушки. В течении каждого импульса луч отклоняется и фокусируется в требуемую точку поверхности (рис. 6). Энергия, длительность, размер фокального пятна и другие параметры каждого импульса назначаются в зависимости от конкретных условий обработки и диаметра получаемого отверстия.

Применение ЭЛО ограничивают необходимость выполнения процесса в вакууме (большие энергетические потери на работу насосов, создающих вакуум) и высокая стоимость технологического оборудования.

ЛАЗЕРНАЯ ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ

Лазеры начинают широко использовать для получения отверстий малого диаметра. Это обусловлено возможностью получения отверстий диаметром от десятков микрон до нескольких миллиметров значительной глубины (до 50 диаметров) с высокой производительностью и точностью в любых металлах, сплавах и керамиках. Лазерная перфорация отверстий нашла широкое применение при изготовлении деталей газотурбинных двигателей.

Основные показатели лазерного сверления зависят от применяемого оборудования и обрабатываемого материала и могут изменяться в широких пределах.

При лазерном сверлении материал удаляется в виде смеси расплавленных и испаренных частиц, соотношение которых зависит от свойств материала и интенсивности лазерного излучения. Наиболее часто обработка выполняется «пачкой» лазерных импульсов.

Лазерное сверление позволяет получать различные по форме отверстия в разных материалах, включая труднообрабатываемые суперсплавы, используемые в

аэрокосмической технике. Возможно сверление отверстий под малыми углами к поверхности. Высокая производительность этого метода обеспечивает получение сотен и тысяч отверстий в одной детали. Для лазерного сверления в металлах и сплавах обычно используют импульсные Nd:YAG-лазеры, а в неметаллических материалах — CO₂-лазеры.

В зависимости от размеров и формы отверстий, а также типа применяемого оборудования, используют различные технологические приемы (рис. 7):

- прошивка единичным импульсом;
- импульсная прошивка;
- трепанация (контурная вырезка);
- винтовое «сверление»;
- прошивка по маске.

Прошивка производится одним или множеством импульсов лазера, при этом необходимо обеспечить высокую плотность мощности. Размеры фокусного пятна в зависимости от диаметра отверстия составляют $d_f = 0,05 \dots 0,75$ мм.

Для лазерной прошивки используют лазеры мощностью 100...400 Вт. Длительность импульсов выбирается исходя из требуемого качества отверстия. Следует иметь в виду, что уменьшение продолжительности импульса снижает его энергию. Типичные значения длительности импульса, используемые для лазерного сверления, находятся в диапазоне 0,5...2 мкс, однако имеются установки, работающие с длительностями импульсов в несколько десятков наносекунд. Следует иметь в виду, что уменьшение длительности импульса иногда позволяет улучшить качество получаемых отверстий (рис. 8). Выбираемая частота импульсов должна обеспечивать оптимальный баланс между производительностью и качеством обработки. При прошивке ее назначают в пределах 5...20 Гц (Nd:YAG-лазеры) до 1000 Гц (CO₂-лазеры). Энергия импульса зависит от диаметра обрабатываемого отверстия, толщины и вида материала. С ее ростом увеличивается производительность, но снижаются качественные характеристики отверстия.

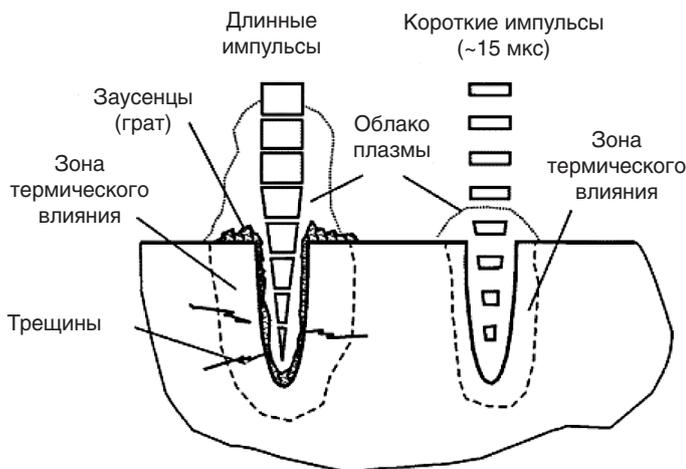


Рис. 8. Особенности формирования отверстия при обработке импульсами различной длительности



СТАНОК ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ПОЛИКОРА И КРИСТАЛЛОВ

МЛП1-2106



ГАРАНТИЯ 24

- Высококачественная размерная обработка (резка, фрезерование, скрайбирование, прошивка отверстий) диэлектрических и оптически прозрачных материалов.
- Бездефектная обработка поликора и кварцевого стекла
- Газовый CO₂ slab-лазер
- Прецизионный стол на базе гранитного основания
- Линейные двигатели с немагнитным якорем повышенной точности
- Оснащение дополнительными устройствами фиксации и крепления пластин
- Отличное качество при обработке поликора и сапфира

риментально, исходя из лучшего качества получаемого отверстия. Точность обработки снижается с увеличением длины волны лазерного излучения. Последняя влияет и на производительность обработки (рис. 9).

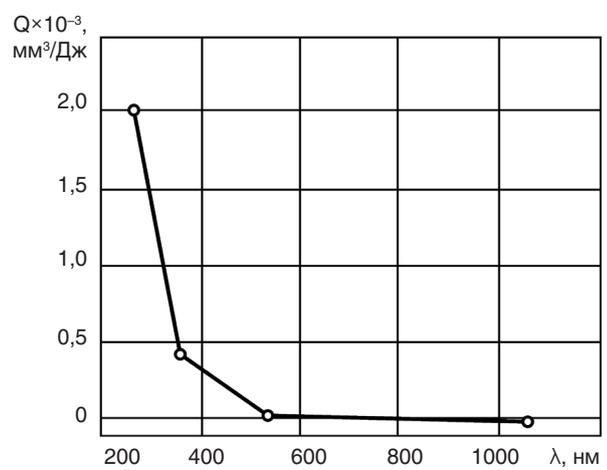


Рис. 9. Влияние длины волны лазерного излучения на объемную скорость удаления материала

При оценке качества обработки отверстия учитываются его точность, шероховатость поверхностей, форма, конусность, наличие микротрещин и грата, величина зоны термического влияния.

Как и в процессах лазерной резки, часто используют вспомогательный газ, способствующий удалению расплавленного материала из обрабатываемого отверстия. Количество импульсов, необходимое для прошивки, зависит от глубины обрабатываемого отверстия, требуемой точности и качества его поверхностей.

Характерными дефектами отверстий, получаемых прошивкой, являются следы разбрызгивания металла у входа в отверстие, конусность и другие искажения формы, наличие зон оплавления и термического влияния, микротрещин и других дефектов, обусловленных

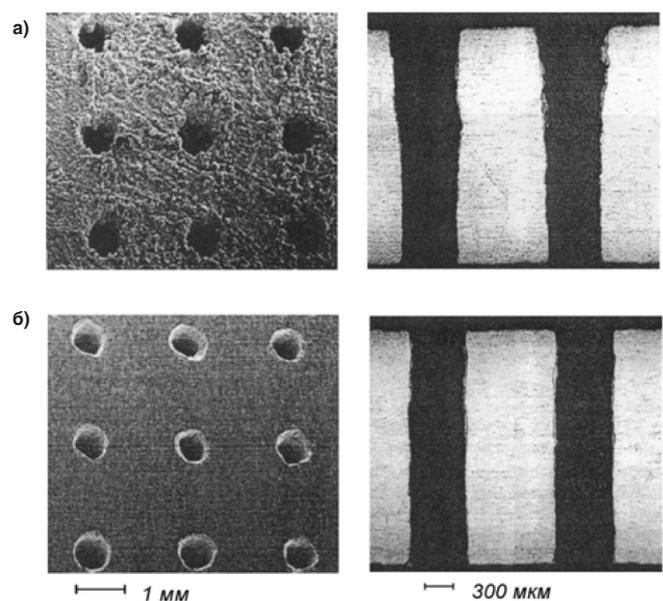


Рис. 10. Типичные микрофотографии отверстий после лазерной прошивки по традиционной технологии (а) и с использованием защитного покрытия и метода SPDPC (б)



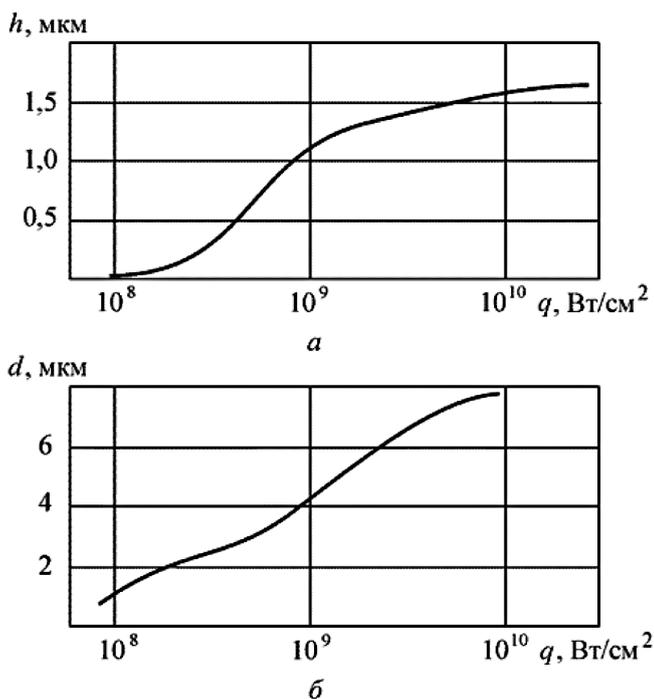


Рис. 11. Влияние плотности мощности лазерного излучения на глубину отверстия, прошиваемого единичным импульсом (а), и диаметр отверстия (б). Обработка меди лазером с длиной волны 355 нм, длительностью импульса 50 нс при диаметре фокального пятна $d_f = 4,5$ мкм

кристаллизацией материала, термическими напряжениями и взаимодействием со средой.

Для борьбы с разбрызгиванием металла используют специальные покрытия. Конусность, возникающую при лазерной прошивке, устранить достаточно сложно. Для этих целей используют приемы, при которых в процессе прошивки отверстия изменяют параметры импульсов (метод SPDPC), например, постепенно увеличивают их энергию. Эффективность этих мероприятий иллюстрирует **рис. 10**.

На **рис. 11** приведены типичные зависимости глубины отверстия, получаемой за единичный импульс, и его диаметра от интенсивности лазерного излучения.

При обработке множества отверстий иногда используют прием, называемый Fire-On-The Fly, при котором импульсы от стационарно расположенного лазера воздействуют на деталь в процессе вращения или другого перемещения, причем подача импульсов синхронизируется с перемещением детали, чтобы обеспечить точное попадание луча в места расположения отверстий. Про-



Рис. 12. Отверстия, полученные лазерным сверлением по технологии Fire-On-The Fly

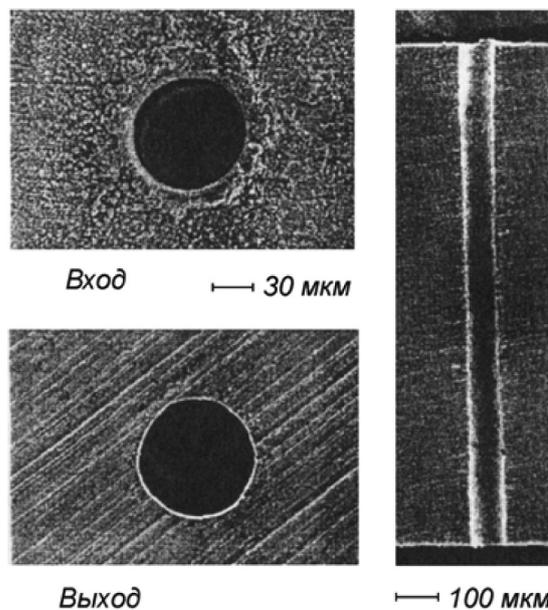


Рис. 13. Отверстие в стали толщиной 1 мм, полученное методом винтового сверления Nd:YAG-лазером с длительностью импульсов 10 нс (Friedrich Dausinger)

граммным изменением положения фокуса, мощности числа и формы импульсов можно обеспечить управление размером, конусностью и качеством получаемых отверстий. Достоинством такой технологии является снижение величины зоны термического влияния и вероятности возникновения микротрещин. На **рис. 12** приведена деталь с множеством отверстий, полученных по технологии Fire-On-The Fly. Скорость прошивки в деталях толщиной ~1 мм составляет до 50 отверстий в секунду.

Второй прием — трепанация обычно выполняется перемещением лазерного луча по заданному контуру. Обработка проводится аналогично лазерной резке с предварительным получением стартового отверстия в центре с дальнейшим выходом луча за заданный контур и перемещением по нему. Термин «сверление» вместо «резки» используют в тех случаях, когда диаметр обрабатываемого отверстия меньше его глубины (толщины детали). Изменяя наклон луча и траекторию его перемещения, можно управлять формой и размерами отверстия как в сечении, перпендикулярном оси, так и осевом. Следует отметить, что точность, достигаемая приемами трепанации, выше, чем при прошивке. Трепанация обычно используется для получения отверстий диаметром более 0,5 мм.

Винтовое сверление является сравнительно новой технологией лазерной обработки отверстий, позволяющей существенно повысить их качество. В отличие от

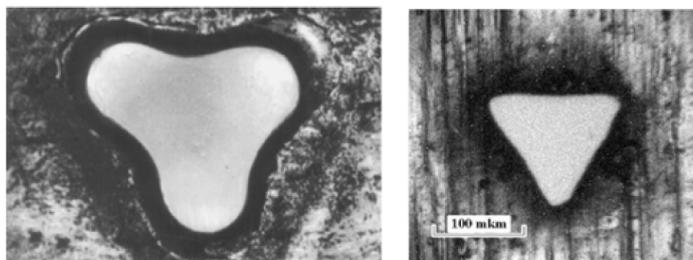


Рис. 14. Отверстия, полученные прошивкой с фокусировкой по маске в пластине из нержавеющей стали толщиной 0,3 мм

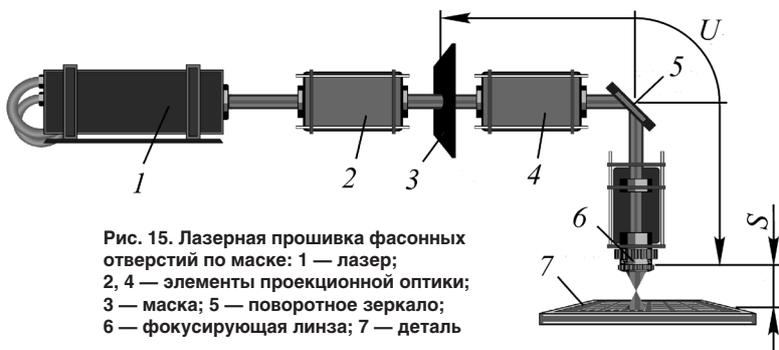


Рис. 15. Лазерная прошивка фасонных отверстий по маске: 1 — лазер; 2, 4 — элементы проекционной оптики; 3 — маска; 5 — поворотное зеркало; 6 — фокусирующая линза; 7 — деталь

трепанации, отверстие получают за несколько проходов лазерного луча. Винтовое сверление по сравнению с прошивкой позволяет получать отверстия более правильной формы (рис. 13), а при использовании наносекундных лазеров — значительно уменьшить величину оплавленного слоя. По этой технологии получают отверстия диаметром от 100 мкм. Кроме того, можно обрабатывать отверстия не только круглой формы. Винтовая обработка особенно эффективна в тех случаях, когда диаметр обрабатываемого отверстия близок к диаметру фокального пятна.

Прошивкой с фокусировкой по маске прошивают отверстия любой формы (рис. 14).

Схема такой прошивки показана на рис. 15. В данном случае на пути нефокусированного луча устанавливается маска с отверстием требуемой формы. После фокусировки на обрабатываемую поверхность фокальное пятно имеет форму отверстия в маске, уменьшенную в D раз. Масштабирование луча определяется выражениями:

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \text{ и } D = \frac{u}{s},$$

где u — расстояние от маски до фокусирующей линзы; s — расстояние от фокусирующей линзы до поверхности детали; f — фокусное расстояние фокусирующей линзы.

Для выполнения операций лазерного сверления выпускаются специальные станки, отличающиеся назначением и мощностью используемого лазера. Например, установка JK704 мощностью 400 Вт имеет систему автофокуса и обрабатывает отверстия с точностью $\pm 0,025$ мм. Отверстие $\varnothing 0,5$ мм в стали толщиной 24,5 мм она прошивает за 90 секунд, а такое же отверстие в никелевом сплаве толщиной 1 мм — за одну секунду.

Имеются установки для получения очень мелких отверстий на деталях толщиной до 1 мм. На них возможно

получение отверстий с минимальным диаметром 15 мкм. Максимальный диаметр отверстия не ограничен, если его получают вырезкой.

Для нужд аэрокосмической промышленности разработаны лазерные установки с многокоординатными устройствами ЧПУ, например, установка HD-205 фирмы Huffman имеет пятикоординатное устройство ЧПУ (три линейные координаты (X, Y и Z) и две вращательные (B и C)). Она оснащена Nd:YAG-лазером P50L мощностью 500 Вт и предназначена для обработки отверстий в охлаждаемых лопатках турбин и других деталях.

В настоящее время для прошивания отверстий в лопатках турбины используют шестикоординатные станки с ЧПУ. Для получения выходного луча со средней мощностью 400 Вт и максимальной энергией импульса 35, 70 и 75 Дж с частотой повторения импульса 55, 45 и 30 Гц при номинальной длительности импульса 0,5; 1,0 и 1,5 мс используют два импульсных Nd:YAG-лазера мощностью 200 Вт, расположенных в конфигурации генератор-усилитель. Отверстия, размеры которых превышают 0,75 мм, получают методом трепанации при толщине обрабатываемых деталей до 19 мм. Время обработки отверстия 0,5 мм при глубине 3,2 мм составляет 0,25 с.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ МАЛОГО ДИАМЕТРА

Электрохимическим способом, используя схемы, показанные на рис. 16, получают отверстия малого диаметра.

При электрохимической прошивке трубчатым электродом (рис. 16а) последний выполняется в виде металлической трубки (обычно из Nb, Ti или нержавеющей стали) с изолированной боковой поверхностью.

Для обеспечения эффективного удаления продуктов электрохимических реакций из межэлектродного промежутка используется прокачка электролита через тело электрода. Обработка ведется при плотности тока 60...140 А/см², относительно больших значениях межэлектродного зазора (0,1...0,3) и давлении электролита на входе 0,5...10 МПа. В ряде случаев для повышения стабильности процесса на выходе электролита искусственно создают гидросопротивление его потоку.

Достоинствами электрохимической прошивки являются отсутствие механических и термических воздействий, что дает возможность получить хорошее качество поверхности и практически избежать износа ЭИ, заусенцев и острых кромок.

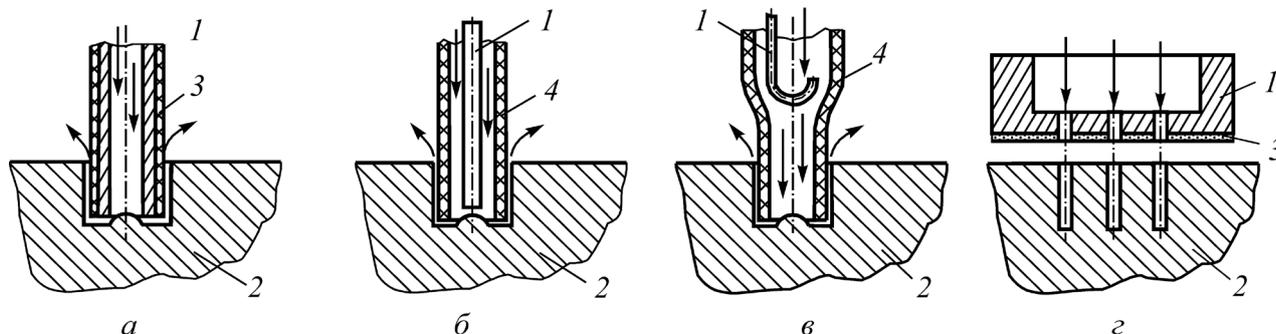


Рис. 16. Схемы электрохимической прошивки отверстий малого диаметра: а — трубчатым электродом; б — струйная с электродом, размещенным в непроводящей (кварцевой) трубке; в — струйная с кварцевой трубкой, имеющей капиллярный конец; г — струйная для системы отверстий; 1 — катод-инструмент; 2 — заготовка; 3 — изоляционное покрытие; 4 — стеклянная трубка

Таблица 4

Параметр	Прошивка трубчатым электродом	Струйная с электродом в кварцевой трубке	Струйная с капиллярным концом	Прошивка струей электролита
Минимальный диаметр отверстия, мм	0,5	0,2	0,125	0,125
Максимальное отношение длина/диаметр	300	100	40	30
Точность обработки, ± мм	0,03	0,03	0,03	0,05
Скорость прошивки, мм/мин	1...3,5	1...3,5	1...3,5	1...3,5

К недостаткам относится наводораживание поверхностного слоя отверстия, низкая скорость обработки (0,5...4,0 мм/мин) и нестабильность протекания процесса вследствие неблагоприятных условий эвакуации продуктов электрохимической реакции. Требуется применение качественных кислотостойких покрытий, обладающих хорошей адгезией к поверхности электрода инструмента. Последнее является наиболее существенным техническим ограничением в использовании электрохимической прошивки для получения отверстий диаметром менее 0,5 мм.

При электрохимической струйной прошивке (рис. 16б, в) катод, выполненный из благородного металла (Au, Pt), размещается в кварцевой или сапфировой трубке. Такая конструкция ЭИ исключает возможность короткого замыкания, а при наличии вытянутого капиллярного конца дает возможность получать отверстия до 0,1...0,2 мм.

К основным недостаткам электрохимической струйной прошивки следует отнести: низкую скорость подачи ЭИ (не более 4 мм/мин); необходимость применения высоких рабочих напряжений (400–1200 В) и давления прокачки (до 10 МПа); использование агрессивных кислотных электролитов (15...30% водные растворы HCl, H₂SO₄, HNO₃); хрупкость и засорение капиллярных частей кварцевых трубок.

Системы отверстий малого диаметра могут быть получены по схеме, показанной на рис. 16г. Обработка выполняется ламинарными струями электролита, формируемыми при подаче электролита под давлением через титановый катод-инструмент.

Технические показатели рассмотренных способов прошивки отверстий приведены в табл. 4.

Известен способ электрохимической перфорации тонкостенных деталей по трафарету. В основном им получают отверстия в фольгах, тонкостенных трубах и т.п. Электрохимическое перфорирование позволяет получать сетки толщиной 5...200 мкм с шагом отверстий не менее 0,2 мм при минимальном диаметре отверстий 0,05 мм.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ СВЕРЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ

Ультразвуковой способ эффективен для обработки отверстий в хрупких материалах (стекло, керамика и др.) и имеет сравнительно малую производительность.

Принцип процесса заключается в «выкалывании» частиц обрабатываемого материала абразивными зернами, которые испытывают ударное воздействие вибрирующего с ультразвуковой частотой инструмента. Особенностью технологической схемы ультразвуковой обработки на прошивочных операциях является необходимость принудительного подвода абразивной суспензии в зону обработки. Для исключения сколов на выходе инструмента

из заготовки ее целесообразно приклеивать к стеклянным прокладкам. Ультразвуковой обработкой можно получать отверстия диаметром от 0,2 мм, а также отверстия сложной формы.

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ

Электроэрозионная обработка является одним из наиболее эффективных способов получения отверстий малого диаметра (от 0,05 мм), в том числе глубоких. Она может выполняться проволочными или стержневыми электродами-инструментами — одиночными при обработке одного отверстия или групповыми, собранными и установленными в определенном порядке, для одновременной прошивки группы отверстий. Проволочные элементы групповых электродов-инструментов подаются через кондуктор, при этом отклонения в расположении отверстий на детали напрямую зависят от качества кондуктора.

Следует учитывать, что все дефекты электрода-инструмента (форма сечения, неравномерность диаметра по длине) будут сказываться на качестве получаемых отверстий. На точности обработки отверстий сказывается и жесткость электрода-инструмента.

При прошивке отверстий затруднена эвакуация продуктов разрушения, что снижает производительность, ведет к увеличению размера отверстия и конусности. Применение менее вязких рабочих сред облегчает процесс удаления продуктов эрозии. По описанным схемам прошивают отверстия сравнительно небольшой глубины (до 10 d).

Производительность электроэрозионного сверления может быть увеличена применением орбитального движения электрода инструмента относительно оси обрабатываемого отверстия. Это способствует также снижению конусности и дает возможность регулировать размер отверстия изменением радиуса орбитального движения.



Рис. 17. Электроды, используемые для прошивки отверстий

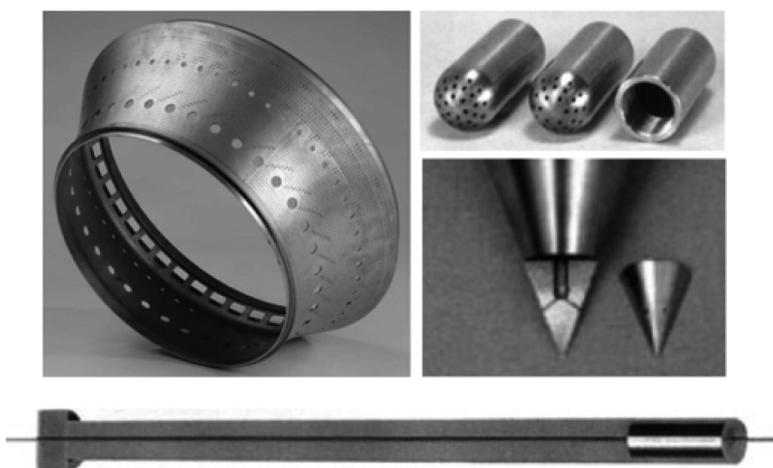


Рис. 18. Детали с отверстиями малого диаметра, полученными электроэрозионной прошивкой

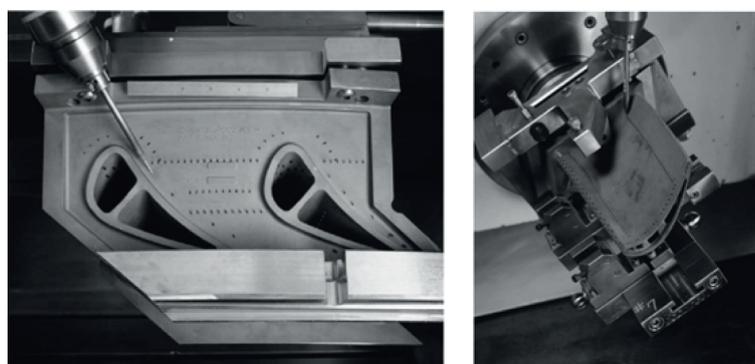


Рис. 20. Прошивка отверстий малого диаметра в охлаждаемых лопатках

В последние годы разработано и получает широкое применение специализированное электроэрозионное оборудование с ручным управлением и ЧПУ для обработки отверстий 0,2...6 мм. Обработка выполняется полыми электродами (рис. 17), подаваемыми через кондукторные втулки, изготавливаемые из алмаза, сапфира и других сверхтвердых материалов. Для того чтобы избежать образования при прошивке центрального стержня, отверстия в электродах выполняют смещенными от оси или используют несколько отверстий, разделенных перемычками.

Электроду придается вращательное движение с частотой до 3000 об/мин, которое устраняет овальность получаемого отверстия, вызванную искажением профиля проволоки, а через его тело под высоким (до 10 МПа) давлением прокачивается диэлектрическая жидкость.

Станки, специализированные на такую обработку, способны производительно прошивать отверстия в твердых металлах с отношением глубины к диаметру до 200:1, минимальной конусностью (1,5° на 100 мм) и шероховатостью $R_{\max} = 15$ мкм. В качестве рабочих жидкостей используются дистиллированная вода и специальные составы на водной основе, например «Vitol-KS». Скорость прошивки достигает 20 мм/мин. На рис. 18 приведены примеры, иллюстрирующие технологические возможности такой обработки.

Отверстия с различными углами наклона на деталях сложной формы обрабатывают на оборудовании с ЧПУ. Например, на станках серии FN фирмы Beaumont используются 6- и 7-координатные системы ЧПУ. Некоторые



Рис. 19. Специализированный станок для обработки отверстий фирмы CURRENT с устройством автоматической смены электрода-инструмента

из станков оснащаются механизмами автоматической смены электродов инструментов и кондукторных втулок, встроенными координатно-измерительными устройствами, системами правки электродов. На рис. 19 показан один из станков фирмы CURRENT.

С применением такого оборудования появилась возможность получения в охлаждаемых лопатках турбины (рис. 20) отверстий с минимальным диаметром 0,2...0,3 мм на глубину до 10 мм. Изготовление таких отверстий традиционными методами сопряжено с большими трудностями либо практически невозможно.

Для повышения точности при сквозном прошивании отверстий с соотношением длины и диаметра 20 и выше применяют черновой и чистовой проход. При врезании и в конце обработки (при выходе электрода из пластины) снижают среднее значение рабочего тока (на 20...50%) для стабилизации электроэрозионного процесса врезания и получения входных и выходных кромок отверстия правильной формы.

Исходя из изложенного, можно отметить, что в настоящее время разработаны технологии и оборудование, изменившие представления о низкой технологичности и ограниченной производительности операций получения отверстий малого диаметра, в том числе глубоких, расширить возможности по созданию изделий различного назначения, содержащих большое количество малоразмерных глухих и сквозных элементов различной формы.

Алексей Георгиевич Бойцов

МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В РАБОТЕ ПРИВЕДЕН ОБЗОР СПОСОБОВ И ТЕХНОЛОГИЙ МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ, ВЫЯВЛЕНЫ ИХ ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ, РАССМОТРЕНЫ ПРОБЛЕМЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ ЭТОГО НАПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ МИКРОМАШИНОСТРОЕНИЯ.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием современной промышленности растет интерес к миниатюризации изделий, что прежде всего связано с необходимостью повышения их потребительских свойств. При формировании микромасштабных элементов материалов возникают сложности в связи с подбором методов и технологий, обеспечивающих технические требования. К таким изделиям, например, относят: микрореакторы, топливные элементы, топливные насосы, микромедицинские компоненты и теплообменники. Они широко используются в автомобильной, авиационно-космической и информационной технике. Считается, что микрообработка используется для производства миниатюрных изделий с размерами менее 1 мм (от 1 до 999 мкм).

1. МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

В современном машиностроении существует ряд проблем, связанных с микрообработкой: при производстве форсунок двигателей нового поколения требуются высококачественные отверстия диаметром менее 100...150 мкм [1], отверстия диаметром 100...1000 мкм используют в конструкции лопаток турбин и других деталях горячей части двигателей в авиационно-космической промышленности; струйные принтеры содержат ряд маленьких конических отверстий размерами 28 мкм, медицинские микроиглы диаметром 200–300 мкм и длиной менее 78 мкм используются для инъекции широкого спектра различных низкомолекулярных лекарств и терапевтических средств [2].

В последнее время при решении технологических задач микрообработки все чаще применяют электрофизические, электрохимические методы, лазерную обработку, аддитивные технологии и комбинированные методы обработки [3].

Судя по публикациям в специальной литературе, интенсивно развивается технологическое направление, связанное с применением метода электроэрозионной обработки в микромашиностроении. Учитывая масштабный фактор, будем в дальнейшем говорить о методе микроэлектроэрозионной обработки (МЭЭО), на основе которого созданы и создаются способы и технологии, объединенные общим для них процессом электрической эрозии материалов и использованием этого процесса для формообразования микроизделий и микроэлементов конструкций изделий.

Таким образом, процесс МЭЭО — это успешная адаптация процесса ЭЭО при значениях энергии разряда $10^{-7}...10^{-6}$ Дж. Выделяют четыре основных операции МЭЭО: прошивочную, фрезерную, шлифовальную и копировально-прошивочную.

МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ПРОШИВКА ОТВЕРСТИЙ

Эта операция широко используется при изготовлении отверстий в топливных форсунках дизельного двигателя. Отверстие должно иметь обратную конусность: это улучшает коэффициент разрежения и снижает кавитацию. Для решения данной задачи в работе [5] была разработана технология прошивки конических отверстий. В работе [3] предложен метод интегрированной обработки, сочетающий в себе последовательно выполняемые операции лазерной прошивки и микроэлектроэрозионной калибровки. Основной проблемой операции электроэрозионной прошивки отверстий является эвакуация из межэлектродного промежутка продуктов электрического разряда: газовых включений и продуктов разрушения материала электродов. Эта проблема усугубляется при прошивке микроразмерных отверстий [6]. Для ее решения электроду придается планетарное движение в плоскости отверстия. Это приводит к меньшему износу его рабочей поверхности и минимизирует нежелательную конусность и волнистость [7]. Из-за лучшей эвакуации продуктов эрозии в результате планетарного движения скорость обработки материала возрастает более чем в 4 раза.

Важно отметить непосредственное влияние состава диэлектрической жидкости на износ электрода и скорость удаления материала. Так, при применении минерального масла продукты термического распада загрязняют диэлектрическую жидкость и вызывают нежелательные разряды. Деионизированная вода не вызывает таких проблем и способствует сокращению времени удаления материала (рис. 1). В [8–10] приводятся результаты экспериментальных исследований влияния планетарного движения и состава диэлектрической жидкости на скорость удаления материала.

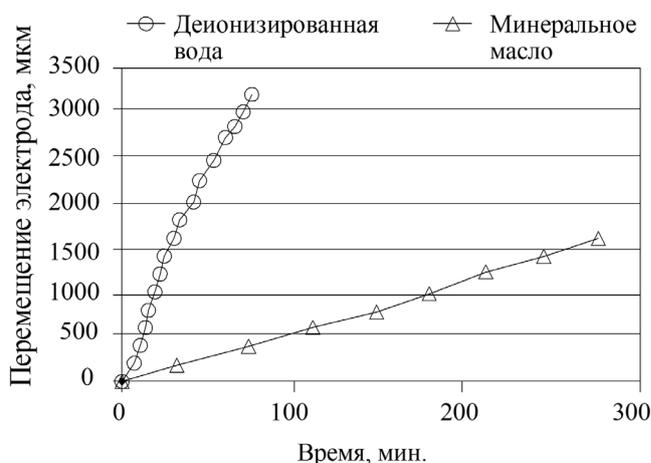


Рис. 1. Влияние состава диэлектрической жидкости на скорость обработки [10]

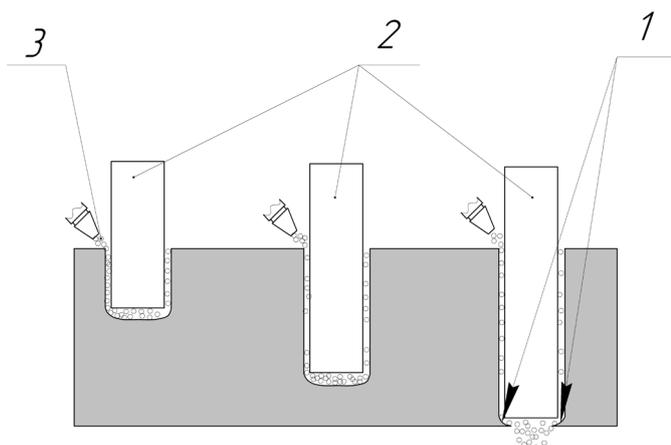


Рис. 2. Этапы формирования шейки (1 — шейка; 2 — инструмент; 3 — диэлектрическая жидкость)

Другая проблема, характерная для микроэлектроэрозионной прошивки, — это образование шейки на выходе из отверстия (рис. 2). Шейка 1 возникает из-за того, что в конце операции прошивки инструментом 2 диэлектрическая жидкость 3 вытекает через выходное отверстие. Это уменьшает количество эрозионных частиц, взвешенных в диэлектрике, и, следовательно, снижает боковую вторичную эрозию.

Следует отметить, что из-за относительно высокого износа электродов-инструментов при микрообработке их замена в течение цикла обработки приводит к появлению погрешности установки, что заметно снижает точность обработки отверстий. Поэтому большинство прецизионных станков для микрообработки оснащены устройством заточки инструмента непосредственно на станке.

Для эффективного прошивания массива микроотверстий с высоким соотношением глубины прошивания к диаметру отверстия в [11] разработан микроинструмент, позволяющий за один проход получить массив из 100 отверстий квадратного сечения. Микроэлектрод для такой операции представляет из себя массив 10×10 квадратных микростержней; ширина каждого стержня и расстояние между ними 21 и 24 мкм соответственно. Кончики микростержней скруглены радиусом 8...50 мкм, а на кончике предусмотрен плоский выступ в 1 мкм. Это необходимо, чтобы снизить износ и избежать заусенцев в обрабатываемых отверстиях (рис. 3а). Инструмент изготавливался методом проволочного электроэрозионно-

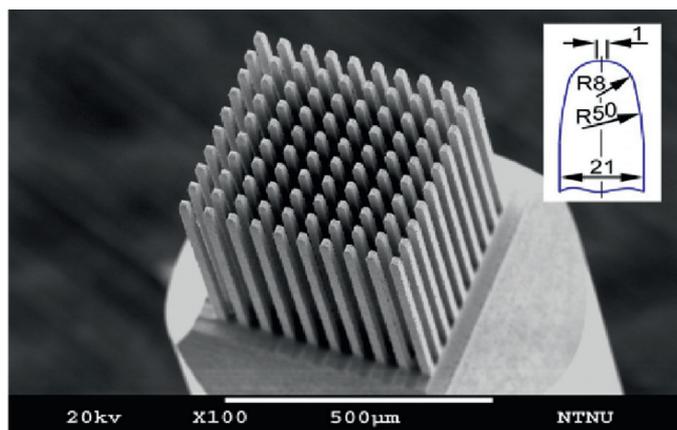


Рис. 3. Электрод-инструмент (а) и изделие с комплектом отверстий (б)

го шлифования. В работе [12] представлена технология одновременной прошивки 580 отверстий ромбического сечения с диаметром вписанной окружности 250 мкм в деталях типа «фильтр» (рис. 3б). Многоствержневой инструмент изготовлен на операции электроэрозионной проволочной вырезки.

Основными преимуществами микроэлектроэрозионной прошивки являются точность и простота реализации, а к недостаткам относят относительно низкую производительность, значительный износ электрода и наличие зоны термического влияния. В ряде работ отмечается перспективность комбинирования микроэлектроэрозионной прошивки с другими методами микрообработки. Так, например, комбинированная лазерно-электроэрозионная микрообработка позволяет заметно улучшить технологические результаты и решить ряд специальных технологических задач, а применение электрохимической обработки — удалить слой материала, подверженный термическому воздействию.

МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ФРЕЗЕРОВАНИЕ

Этот способ и соответствующие технологии основаны на применении вращающегося стержневого инструмента, как правило, цилиндрической формы. Этот инструмент совершает трехкоординатное перемещение в рабочей зоне станка с ЧПУ для создания трехмерных полостей. Первое устройство для фрезерной электроэрозионной обработки запатентовано компанией Charmilles Technologies SA в 1993 году. В настоящее время эта операция используется в основном для производства

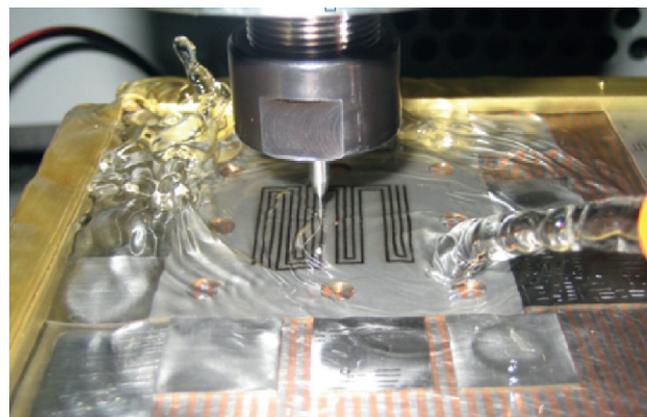


Рис. 4. Микрофрезерование пластины микрореактора [13]



б)

микролитейных форм для литья под давлением. Ее применяют также в производстве специальных стальных пластин для топливных элементов микрореакторов [13]. Операция микроэлектроэрозионного фрезерования пластины микрореактора представлена на **рис. 4**. В качестве диэлектрика используется деионизированная вода.

В этой операции используются электроды диаметром менее 0,8 мм. При таком размере электроды являются маложесткими: это сказывается на точности обработки. Для придания инструменту дополнительной жесткости используют динамический эффект вращающегося с высокой скоростью инструмента. В работе [14] представлена оптимальная зависимость скорости вращения электрода-инструмента от его диаметра, данная зависимость обусловлена теоремой Штейнера (**рис. 5**).

Энергия разряда определяет разрешение обработки, шероховатость поверхности, минимальный обрабатываемый размер и износ электрода. Поэтому снижение энергии разряда является ключевым фактором для дальнейшей миниатюризации процесса.

В процессе фрезерования из-за износа рабочей части инструмента происходит заточка торцевой части инструмента, приводящая к уменьшению его диаметра, и его укорочению из-за износа в осевом направлении. Основными задачами повышения точности операции микроэрозионного фрезерования являются учет и корректировка влияния износа, а также изучение влияния параметров режима на износ.

Для микроэлектроэрозионного фрезерования прямоугольных углублений используются ЭИ прямоугольного поперечного сечения. При обработке таким инструментом существует проблема его заточки, связанная с неравномерным износом. В целях стабилизации износа конца рабочей части инструмента в работе [15] предложена методика оптимизации глубины и траектории резания, критерием оптимизации служит шероховатость обработанной поверхности.

Несмотря на использование современных контроллеров, систем ЧПУ и высокую степень автоматизации электроэрозионных станков, существующие САМ-системы не способны варьировать глубину и траекторию резания в

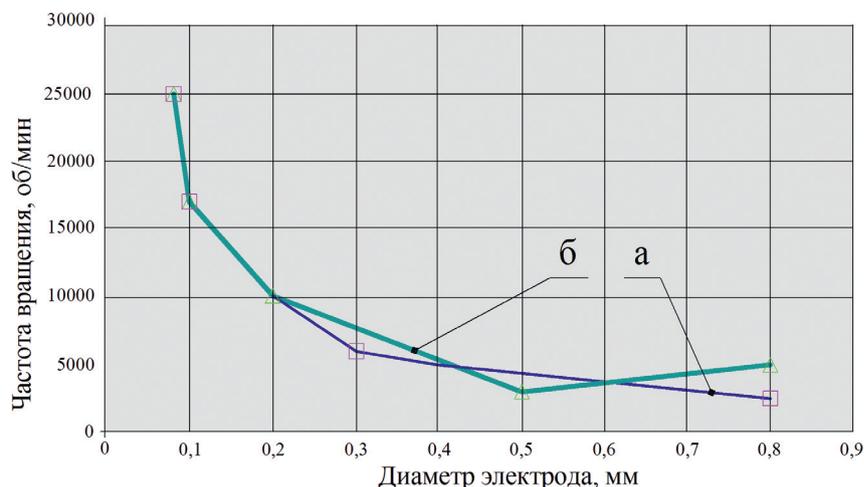


Рис. 5. Зависимость частоты вращения электрода при микроэлектроэрозионном фрезеровании от его диаметра: а — полый электрод; б — стержневой электрод [14]

зависимости от износа инструмента. Это накладывает некоторые ограничения на применение микроэлектроэрозионного фрезерования. В работе [16] предложен алгоритм для снижения шероховатости и компенсации износа инструмента в автономном режиме. Данный алгоритм учитывает износ вдоль траектории движения инструмента и, по утверждению авторов, пригоден для интеграции в CAD/CAM.

МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ШЛИФОВАНИЕ

Операция микроэлектроэрозионного шлифования используется для изготовления микроинструментов для ЭЭО диаметром до 5 мкм. Используют несколько способов ее реализации.

Профилирование инструмента с помощью электрода-пластины применяют для получения инструментов цилиндрической или конической формы в продольном сечении (**рис. 6а**). Другой способ предполагает использование вращающегося дискового электрода для заправки стержня (**рис. 6б**). На некоторых станках для заправки стержневого инструмента в качестве электрода используют тонкую бесконечную проволоку, перематывающуюся между двумя катушками (**рис. 6с**). Этот процесс в иностранной литературе носит название «Wire Electric Discharge Grinding». Использование кинематики относительного перемещения инструмента (**рис. 6**) и малые размеры рабочей зоны позволяет изготавливать инструменты различной сложности. Так, например, в [17] была успешно изготовлена и протестирована концевая фреза из поликристаллического алмаза диаметром 20 мкм со сферической поверхностью на рабочем торце.

Чтобы избежать ошибок при изготовлении микроинструмента вне станка, его изготавливают сразу на станке. В исследованиях [44–45] для изготовления микроинструмента был использован электроэрозионный станок Panasonic MG-ED82 W производства Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.

Операция микроэлектроэрозионного шлифования широко используется

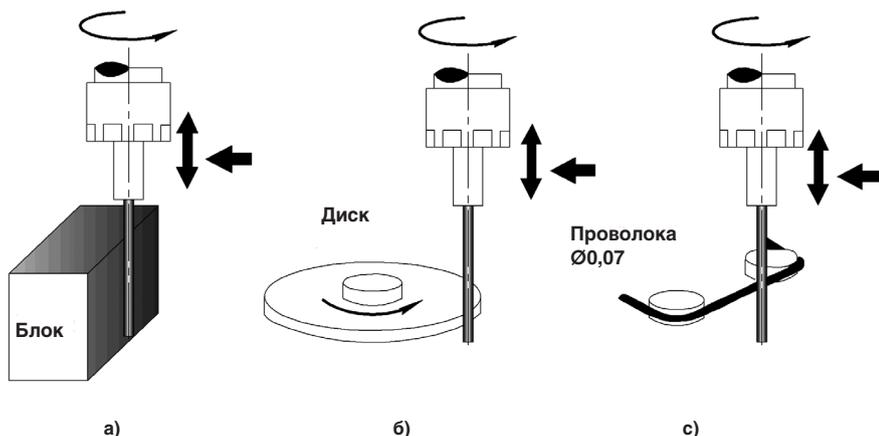


Рис. 6. Устройства для шлифования электродов [11]

не только для изготовления инструмента, но и для других операций, например, комбинированной микроультразвуковой обработки.

МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ КОПИРОВАЛЬНО-ПРОШИВОЧНАЯ ОБРАБОТКА

Эту операцию применяют при микрообработке пространственно-сложных трехмерных полостей, в частности, форм для литья под давлением. Так, в работе [19] выделен ряд основных проблем микроэлектроэрозионного копирования, связанных с износом электродов.

В большей степени износу подвергаются острые кромки копирующего электрода, что, в свою очередь, отражается на обрабатываемой поверхности.

На стадии проектирования авторы особенно выделяют необходимость разработать оптимальную форму рабочего электрода с учетом его износа в процессе обработки. Решается задача [20] создания методики прогнозирования геометрии инструмента и заготовки, которая будет точно учитывать износ инструмента путем включения более подробной информации об изменениях его формы и размеров на микроуровне. Дополнительный объем материала позволит компенсировать износ и добиться требуемой формы поверхности заготовки.

Возможность более точного прогнозирования износа инструмента позволит разработать эффективную стратегию обработки [21]. Так, в работах [21–23] представлена новая структура теоретического моделирования износа на основе неоднородных рациональных B-сплайнов — NURBS. Это говорит о том, что развитие исследований процесса микроэлектроэрозионной копирующей-прошивочной обработки идет по пути, предложенному еще в 90-е годы [15].

2. МИКРОЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ. АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Процесс ЭЭО характеризуется прежде всего высокой точностью и относительно низкой производительностью. Благодаря высокой точности ЭЭО находит все большее применение в микрообработке, несмотря на проблемы, связанные с учетом износа инструмента в процессе формообразования. В последние годы развивается новое направление в микрообработке — микроэлектроэрозионное осаждение, которое основано на принципах, разработанных ранее [24]: рабочая среда — воздух, анодная полярность инструментального электрода, низкий ток, короткая длительность разряда и относительно длительный интервал паузы между импульсами.

Исследования в этом направлении проводятся в Харбинском технологическом институте [24–26]. Так, на основе результатов исследований [24] получен спиральный элемент с внешним диаметром 0,20 мм, толщиной спирали 0,11 мм и высотой до 3,8 мм, время осаждения при этом составило 360 мин. Анализ показал, что между частицами осажденного материала имеется надежное сцепление, а его химический состав соответствует материалу электрода-инструмента.

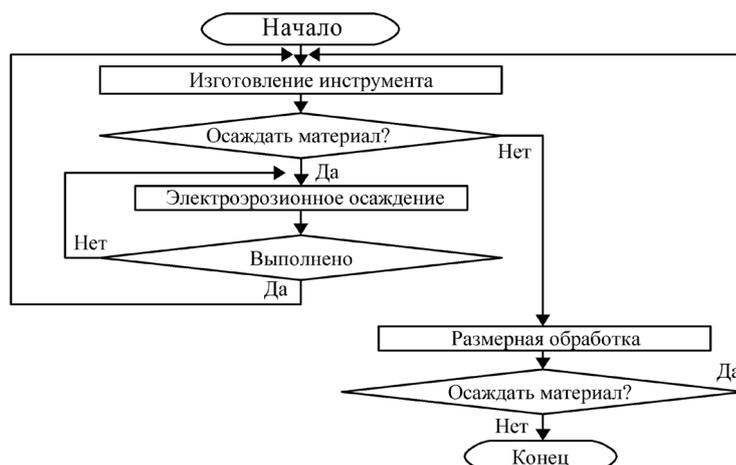


Рис. 7. Алгоритм комбинированного выращивания детали [28]

Результаты исследований показывают, что при осаждении материала на поверхности изделия может образовываться окалина и другие соединения осаждаемого материала с элементами внешней среды [26, 27]. Поэтому становится актуальной стратегия последовательного выращивания и дальнейшей размерной микроэлектроэрозионной обработки. Комбинированный процесс включает в себя три этапа: изготовление инструмента, микроэлектроэрозионное осаждение материала и этап выборочной размерной микроэлектроэрозионной обработки (рис. 7).

Такая стратегия имеет явные преимущества: высокая точность, гибкость к требованиям обработки [28] и высокая повторяемость [25]. Можно удалять некоторое количество материала, получать различные углубления и поверхности, а потом снова осаждать для придания более сложной формы (рис. 8, 9).

Систематические исследования нового метода аддитивной и интегрированной обработки проводятся во многих странах, однако в России подобные работы пока не организованы.

ВЫВОД

Микроэлектроэрозионная обработка является одним из первых и самых перспективных процессов, используемых для микрообработки. Перспективность данного метода обусловлена широкой номенклатурой способов обработки.

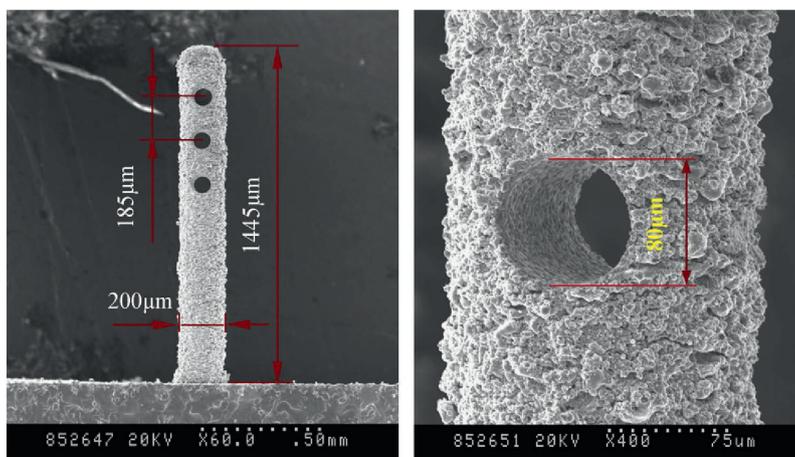


Рис. 8. Электроэрозионное осаждение с интеграцией электроэрозионного прошивания [26]

При этом микроэлектроэрозионная обработка характеризуется наличием нерешенных проблем:

— низкая производительность. Решение этой проблемы идет по пути комбинирования микроэлектроэрозионной обработки с другими методами микрообработки;

— высокий износ инструмента. Проблему решают путем оптимизации режимов и траектории обработки;

— необходимость полностью адаптированных для микрообработки CAD/CAM-систем. Это позволит в автоматическом режиме генерировать оптимальные траектории обработки, снизить износ инструмента и повысить точность формообразования;

— необходимость разработки специальных методов и средств контроля размеров и качества обработки изделий микромашиностроения.

Сергей Михайлович Забайкин

Борис Петрович Саушкин

Московский политехнический университет

Кафедра «Технология и оборудование машиностроения»

zabaikin2015@yandex.ru

Литература

- Li, L., Diver, C., Atkinson, J., Giedl-Wagner, R. and Helml, H.J., 2006. Sequential laser and edm micro-drilling for next generation fuel injection nozzle manufacture. *CirpAnnals-ManufacturingTechnology*, 55 (1). Pp.179–182.
- Kim YC, Park JH, Prausnitz MR. Microneedles for drug and vaccine delivery. *AdvDrugDelivRev*. 2012;64 (14):1547–68
- S. Z. Chavoshi, SauravGoel, Paul Morantz, Current trends and future of sequential micro-machining processes on a single machine tool. *Materials and Design*, Vol. 127, 5 August 2017, Pp. 37–53 DOI: 10.1016 / j.matdes.2017.04.04.057
- Pham, D.— T., Dimov, S.— S., Bigot, S., Ivanov, A., Popov, K., 2004, Micro-EDM — Recent Developments and Research Issues, *Journal of Materials Processing Technology*, 149: 50–57.
- Diver, C., Atkinson, J., Helml, H.— J., Li, L., 2004, Micro-EDM Drilling of Tapered Holes for Industrial Applications, *Journal of Materials Processing Technology*, 149/1–3: 296–303.
- Masuzawa T., Cui X., Taniguchi N., 1992, Improved Jet Flushing for EDM, *Annals of the CIRP*, 41/1:239–242.
- Altan T., Lilly B.W., Kruth J.P., Konig W., Tonshoff H.K., Van Luttervelt C. A., Khairy A.B., 1993, Advanced Techniques for Die and Mold Manufacturing, *Annals of the CIRP*, 42/2:707–716.
- Yu Z., Rajurkar K.P., Narasimhan J. Effect of machining parameters on machining performance of micro EDM and surface integrity // *Proceedings of Annual ASPE Meeting*.— 2003.
- Gil R, Sanchez JA, Ortega N, Plaza S, Izquierdo B, Pombo I. High aspect ratio micro-pin manufacturing using Inverse Slab Electrical Discharge Milling (ISED) process. *Int J AdvManufTechnol* 2013; 65:1459–69.
- Yu, Z. Y., Rajurkar, K. P. and Shen, H., «High aspect ratio and complex shaped blind micro holes by micro EDM», *CIRP Annals-Manuf. Technol.*, vol. 51/1, pp. 359–362, 2002
- Chen S. T. Fabrication of high-density micro holes by upward batch micro EDM // *Journal of Micromechanics and Microengineering*.— 2008. T. 18. №. 8. С. 085002.
- Груздев А. А., Моргунов Ю. А., Саушкин Б. П., Хомякова Н. В. Электроэрозионная прошивка отверстий малого диаметра при наложении ультразвука. Часть 2. Технологии многоэлектродной обработки отверстий / *Электронная обработка материалов*. 2019.
- Hung, J. C.; Yang, T. C.; Li, K. Studies on the Fabrication of Metallic Bipolar Plates — Using Micro Electrical Discharge Machining Milling. *J. Power Sources*. 2011, 196 (4), 2070–2074.

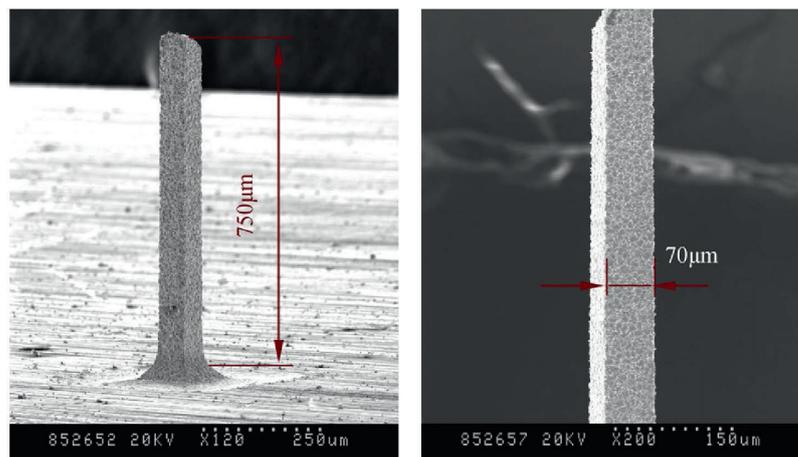


Рис. 9. Электроэрозионное осаждение с интеграцией выборочного микроэлектроэрозионного фрезерования [26]

DOI: 10.1016/j.jpowsour.2010.10.001.

- Richard J and Demellayer R. Micro-EDM-milling development of new machining technology for micro-machining. *Proced CIRP* 2013; 6: 292–296
- Yu Z, Masuzawa T, Fujino M (1998) 3D micro-EDM the simple shape electrode. *Int J Electr Mach* 3:7–12.
- Zhao, W., Yang, Y., Wang, Z., Zhang, Y., 2004, A CAD/CAM system for micro-ED-milling of small 3D freeform cavity, *Journal of Materials Processing Technology*, 149 (1–3), Pp. 573–578.
- Zhang Z, Peng H, Yan J (2013) Micro-Cutting Characteristics of EDM Fabricated High-Precision Polycrystalline Diamond Tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 65:99–106.
- Morgan CJ, Vallance RR, Marsh ER (2007) Micro-machining and micro-grinding with tools fabricated by micro electro-discharge machining. *Int J Nanomanuf* 1 (2):242–258.
- Bigot S, Bissacco G. AndValentinčić J. Die-Sinking Micro EDM for Complex 3D Structuring — Research Directions. *Int. Conf. on Multi-Material Micro Manufacture*, (2009), Stuttgart, Germany.
- Bissacco G, Valentincic J, Hansen HN, Wiwe B (2010) Towards the effective tool wear control in micro-EDM milling. *Int J AdvManufTechnol* 47 (1–4):3–9
- Surleraux A, Pernot JP, Elkaseer A, Bigot S (2016) Iterative surface warping to shape craters in micro-EDM simulation. *EngComput* 32 (3):517–531. <https://doi.org/10.1007/s00366-016-0439-0>
- S. Bigot, J-P. Pernot, A. Elkaseer, A. Surleraux, Micro- EDM numerical simulation and experimental validation, *Proceedings of the 10th International Conference on MultiMaterial Micro Manufacture*, 4M 2013, San Sebastian, Spain.
- Surleraux A, Pernot JP, Elkaseer A, Bigot S (2016) Iterative surface warping to shape craters in micro-EDM simulation. *EngComput* 32 (3):517–531. <https://doi.org/10.1007/s00366-016-0439-0>
- Peng Z.; Chi G.; Wang Z. Micro electrical discharge machining deposition in air for fabrication of micro spiral structures. *Chin. J. Mech. Eng.* 2010, 23, 154–160
- Wang, Z. L., Jin, B. D., Cao, G. H., Wei, Z. W., & Zhao, W. S. (2007). Technique of Brass Spiral Structure Deposition Using Micro EDM in Gas. *KeyEngineeringMaterials*, 329, 595–600.
- Peng, Zilong, Zhenlong Wang, Yinghuai Dong, and Hui Chen. "Development of a reversible machining method for fabrication of microstructures by using micro-EDM." *Journal of Materials Processing Technology* 210.1 (2010): 129–136.
- Muralidharan, B., and H. Chelladurai. "Experimental analysis of electro-discharge deposition process." *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 76.4 (2014): 69–82.
- Peng, Zi Long, and Yi Nan Li. "The Deposition and Removal Process for Micro Machining Based on Electrical Discharge." *Advanced Materials Research*, vol. 472–475, Trans Tech Publications, Ltd., Feb. 2012, pp. 2448–2451.

ГРАФЕН — РЕАЛЬНОСТЬ И ПРОГНОЗЫ: СВОЙСТВА И СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА (1 часть)

ЗАЯВЛЕНИЯ О НОВОЙ ЭРЕ ВО МНОГИХ ОТРАСЛЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ВСЛЕДСТВИЕ ШИРОКОГО ВНЕДРЕНИЯ ГРАФЕНА СВИДЕТЕЛЬСТВОВАЛИ О ПОЯВЛЕНИИ ОЧЕРЕДНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПУЗЫРЯ ТИПА ЭРЫ ДОТКОМОВ, 3D-ПЕЧАТИ И Т.Д. В РЕЗУЛЬТАТЕ, КОГДА ШУМИХА ЗАТИХЛА, ОСТАЛИСЬ РЕАЛЬНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ, КОТОРЫЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНО МОГУТ ПОВЛИЯТЬ НА СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

Когда заходит разговор об углероде, в первую очередь вспоминают об изменении климата из-за выделения в атмосферу огромного количества окислов углерода, которое создает парниковый эффект. Можно вспомнить еще о существовании углерода в виде алмаза и графита. В конце прошлого столетия появился интерес к новым углеродным материалам-фуллеренам, которые представляли собой частицы сферической формы, состоящие из атомов углерода (C_{2n}, C₆₀ и т.д.). И только после присуждения Нобелевской премии К. Новоселову и А. Гейму за работы над новым видом углеродных материалов — графеном возрос публичный интерес к уникальному по своим свойствам графену и его производным. Количество публикаций на тему графена увеличилось с 24 в

2004 г. до 11236 в 2016 г., при этом большая часть патентов (из 13370) была получена в трех странах: США (53%), Япония (13%) и Китай (14%). Все больше появляется новостей об интересных применениях графена в различных отраслях.

Так, например, ученые из университета в Кембридже [1] установили, что композиционные материалы с графеном в качестве фотокатализаторов для разрушения атмосферных загрязнений (окислов азота и углерода) на 70% более эффективны, чем традиционные катализаторы на основе наночастиц титана. При этом сами катализаторы не расходуются, а только стимулируют процесс окисления вредных загрязнений под действием солнечного света до инертных безвредных продуктов.

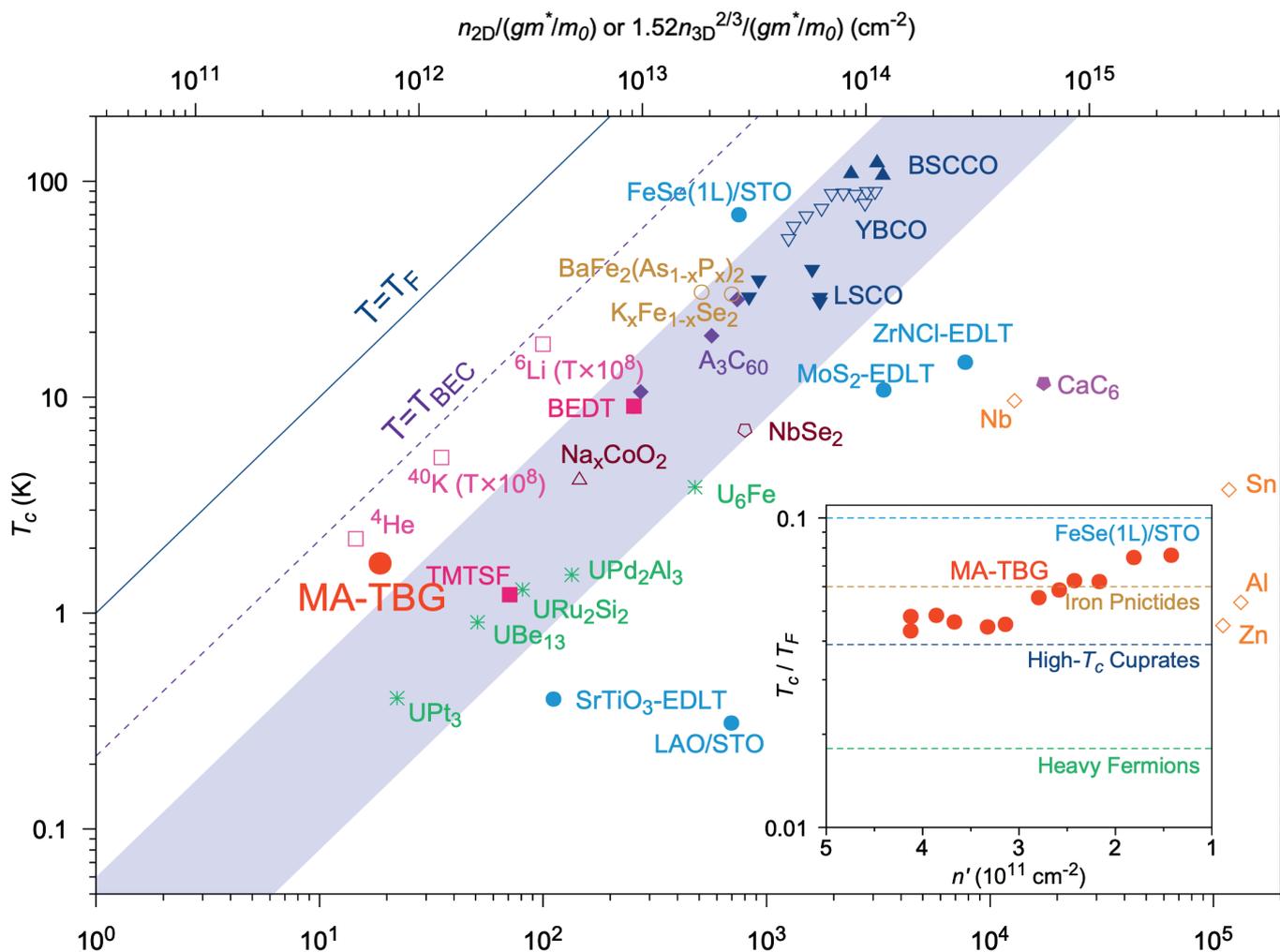


Рис. 1. Зависимость критической температуры T_c (K) от температуры Ферми T_F (K) для различных сверхпроводников при различной плотности носителей заряда для 2D (цветные кружки) и 3D (остальные значки) структур. $T_{BEC} = 1.04\hbar^2 n_D / m^*$ — температура конденсации Бозе – Эйнштейна для 3D-облака бозонов (n_D — плотность носителей заряда, m^* — индекс сверху). ${}^4\text{He}$, ${}^{40}\text{K}$, ${}^6\text{Li}$ — температуры конденсации соответствующих элементов (для сравнения). Встроенный график показывает зависимость T_c/T_F от количества носителей заряда для MA-TBG.

Другая новость из MIT (США, декабрь 2019) — углеродные нанотрубки способны передавать тепло только в одном направлении. Такие асимметричные проводники могут радикально изменить системы охлаждения для компьютеров и другого оборудования [2, 3].

Еще одна новость из MIT — существование «магического угла» поворота одного листа графена относительно другого в двухслойной решетке из графена, при котором при определенных условиях возникает высокотемпературная сверхпроводимость [4].

В работе [4] предложена новая платформа для исследования нетрадиционной сверхпроводимости на основе понятия ультрахолодных атомов в модели квантовых материалов и подробно разбирается механизм образования сверхпроводящего состояния. В отличие от классической сверхпроводимости на основе электрон-фононного механизма, в графеновой суперрешетке сверхпроводимость обеспечивается электронными взаимодействиями. Для сравнения авторы показывают место нового сверхпроводящего материала MA-TBG среди известных сверхпроводников (рис. 1). Платформа представляет собой суперрешетку из двух листов графена, наложенных друг на друга и повернутых на небольшой «магический» угол $1,1^\circ$. Изучено влияние величины и ориентации магнитного поля на условия появления сверхпроводимости образцов из MA-TBG ('Magic' Angle Twisted Bilayer Graphene).

Графен представляет собой материал из углерода, имеющий длину, ширину и толщину в один слой атомов, каждый атом которого связан ковалентными связями с тремя другими атомами углерода (рис. 2). Углеродные нанотрубки (CNT) можно представить как лист графена, свернутый в трубку диаметром менее 10 нм, или как трубку со стенкой толщиной в один атом углерода.

Уникальность свойств графена:

- самый тонкий материал из известных;
- лучший проводник тепла (5000 Вт/м·К) и электричества (200000 см²/В·с) при комнатной температуре;
- прозрачный материал;

- один из самых прочных материалов (модуль Юнга 1100 ГПа);
- большая удельная поверхность (2630 м²/г);
- гибкий материал с высоким растяжением;
- химически инертный;
- биосовместимый;
- не пропускающий жидкости и газы.

Эти уникальные свойства графена делают его реальной альтернативой многим традиционным материалам в различных приложениях:

- сверхлегкие проводники для авиации и космоса;
- сверхтонкие гибкие дисплеи;
- прозрачные сенсорные экраны;
- смартфоны;
- транзисторы;
- суперконденсаторы;
- батареи;
- биомедицина и биотехнологии.

Для широкого внедрения графена в различные технологии необходимо иметь возможность производить его в промышленных масштабах в высоком качестве, используя недорогие экологичные методы.

О ГРАФЕНЕ И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

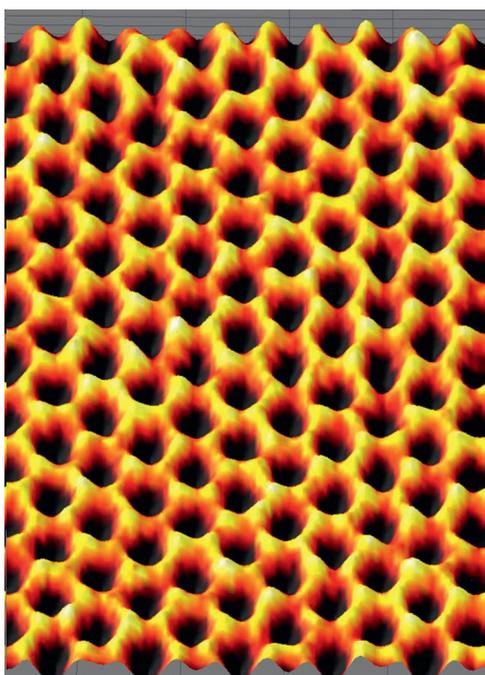
Кроме графена следует различать также и другие подобные графену углеродные материалы, представляющие интерес не только для науки, но и для промышленности. Это многослойный графен, графеновые квантовые точки (GQD), графеновые наноленты (GNR), наносетки, нанолиты, оксиды графена (GO), восстановленный оксид графена (rGO).

Кроме того, существуют разновидности углерода, близкие к графиту (обладают высокой электропроводностью, имеют черный цвет):

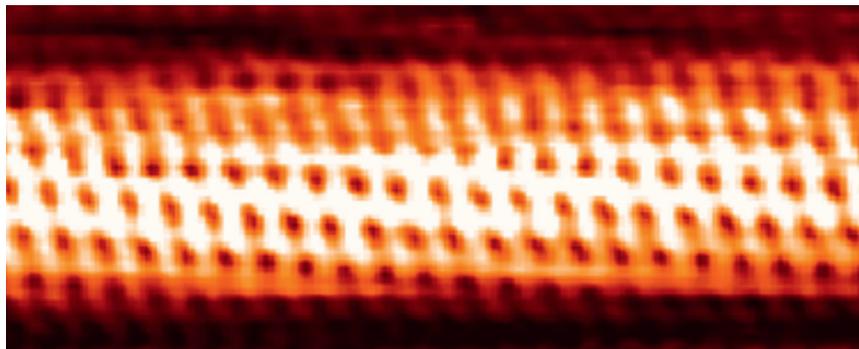
– Сажа, гудрон — тяжелые фракции нефти (carbon black), размер частиц ~2 нм, ежегодная добыча — более 10 млн тонн. Используется в основном в производстве шин для автомобилей как хороший проводник тепла и черный пигмент.

– Так называемый «активированный уголь», или AC (activated carbon, ~20 нм), который получают из угля, торфа, скорлупы орехов. AC примечателен тем, что это чистый углерод с большой удельной поверхностью (500–1500 м²/г), что позволяет использовать его для поглощения нежелательных веществ при очистке воды, воздуха, а также применять как антидот при отравлениях. Ежегодная мировая добыча AC составляет несколько миллионов тонн.

– Углеволокно (carbon fiber) диаметром 6–10 мкм используется для упрочнения пластиковых конструкцион-



а)



б)

Рис. 2. Изображение графена (а) и графеновой нанотрубки (б) получено с помощью сканирующего туннельного микроскопа

Таблица 1. Физические свойства графена

Свойства	Значения
Оптическая прозрачность	97,7%
Теплопроводность	5000 W/m·K
Удельная площадь поверхности	2630 м²/г
Прочность на разрыв	42 N/m
Модуль Юнга	1,1 ТПа

ных материалов, строительных смесей и т.д., поскольку волокна имеют малый вес, высокую прочность и гибкость.

Графен долгое время рассматривался физиками-теоретиками как удобная модель конденсированной материи, поскольку его не находили в свободном виде вследствие его нестабильного состояния, только в «свернутом» виде типа фуллеренов (сферы) или нанотрубок (цилиндры).

Графен представляет собой плоский однослойный материал, плотно упакованный в сотовую структуру (рис. 3), он является базовым двумерным блоком 2D, из которого строятся другие углеродные структуры: графит 3D (блоки наложены друг на друга), нанотрубки 1D (блок свернут в трубку), фуллерен 0D (блок свернут в сферу).

В таблице 1 приведены некоторые уникальные свойства графена.

Плотность графена меньше плотности стали, а прочность при этом в 100 раз выше. Графен обладает токсичными свойствами. Острые края графена могут легко проникать сквозь клеточные мембраны, тем самым нарушая нормальную деятельность клеток.

Оксид графена (GO) обладает многими свойствами графена но в отличие от гидрофобного графена, GO растворяется в воде. Это важное свойство GO дает возможность использовать его в различных приложениях в биотехнологии [6]: фототерапия, визуализация биообъектов, доставка лекарств и биоматериалов, биосенсоры, антибактериальные воздействия.

Процесс получения графена из недорогого графита выглядит следующим образом: сначала получают оксид графена (GO), хорошо растворимый в воде (его можно хранить в виде коллоидного водного раствора), затем для получения восстановленного оксида графена (rGO) можно использовать термические, химические или электрохимические методы (рис. 4).

Другие формы существования углерода появляются при насыщении (гидратировании) графена водородом: это Graphane (рис. 5a) — полностью гидратированный графен, в котором появляются связи CH на двух сторонах графена, и Graphone (рис. 5b) — наполовину гидратированный графен со связями CH с одной стороны. При этом Graphane имеет высокую стабильность, является диэлектриком и может найти применение в наноэлектронике и в графен-гидридных топливных элементах [7].

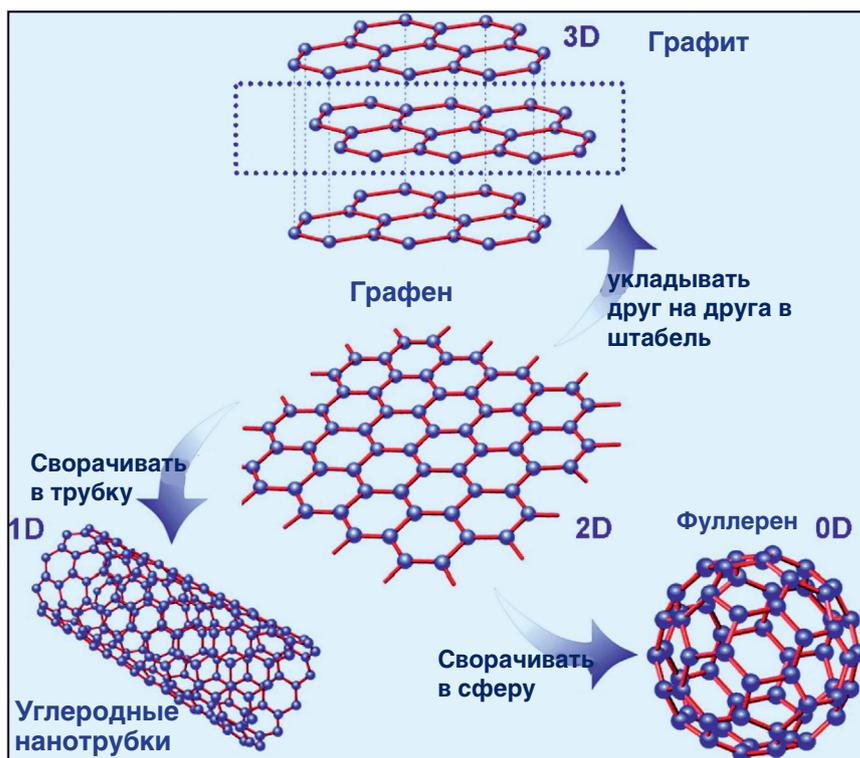


Рис. 3. Виды углеродных материалов [5]

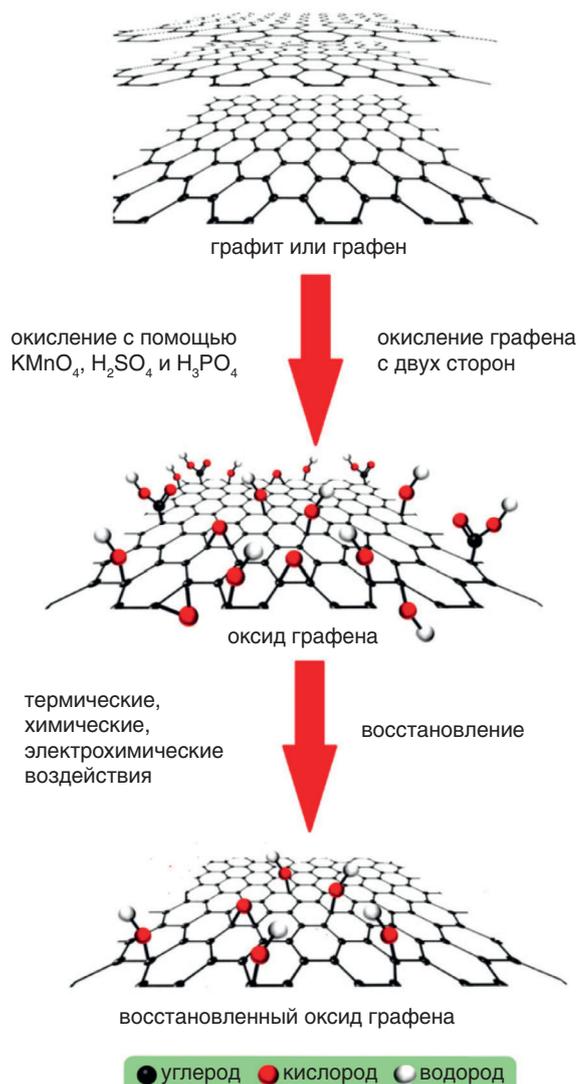


Рис. 4. Схема получения GO и rGO из графита или графена →

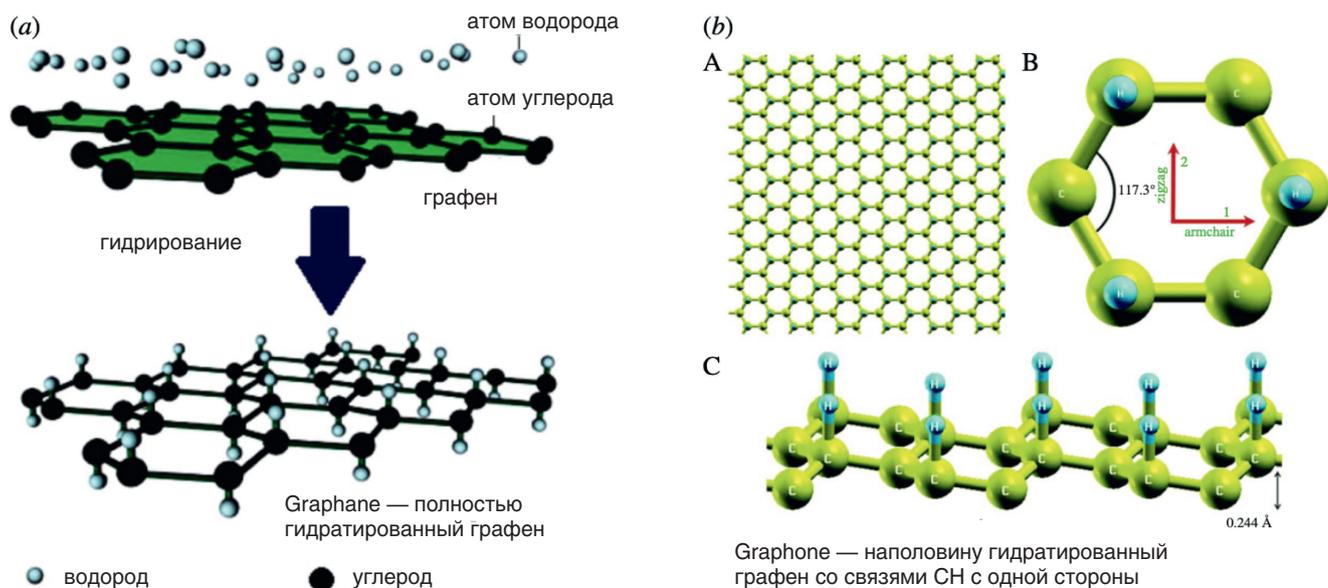


Рис. 5. Схематическое изображение гидратированного графена: двухстороннего Graphane (a) и одностороннего Graphone (b).

Процесс получения Graphane является обратимым и заключается с обработке графена холодной плазмой (аргон с водородом) при невысоких давлении и температуре. Это дает возможность создавать в проводящем графене области с диэлектрическими свойствами и использовать в нанoeлектронике и в биотехнологиях для доставки лекарств.

Graphone обладает антимангнитными свойствами и может найти применение в нанoeлектронике и в биотехнологиях.

Фторографен (FG) рассматривается как самый тонкий изолятор типа тефлона, и в то же время он не является химически инертным веществом. FG способен образовывать различные соединения графена, например, с кислотами. FG найдет свое применение практически во всех вышеуказанных приложениях. Получают FG фторированием графена, механическим или химическим расщеплением фторида графита (рис. 6).

Графеновые квантовые точки (GQD) представляют собой части графена размерами менее 10 нм. Они обладают многими свойствами графена за счет присоединения различных химических групп по кромкам стистц, получают новые свойства и могут использоваться в электронике и биотехнологиях.

Graphyne и Graphdiyne [8] — две аллотропных формы углерода, в которых графен образует структуры с различными связями (рис. 7). Оба являются полупроводниками, создаются методами синтетической органической химии, они могут найти применение в биотехнологиях в качестве биосенсоров, в нанoeлектронике, в процессах опреснения соленых вод.

Для наглядности различные формы существования графена представлены в виде схемы (рис. 8).

Отдельное направление применения графена занимает создание на его основе новых материалов с уникальными свойствами за счет легирования графена различными элементами. Это позволяет разрабатывать материалы для различных приложений, например, для энергетики, сенсоров, фотовольтаики, нанoeлектроники, катализаторов, суперконденсаторов, магнитных материалов, для биомедицины и т.д. Наиболее часто используют

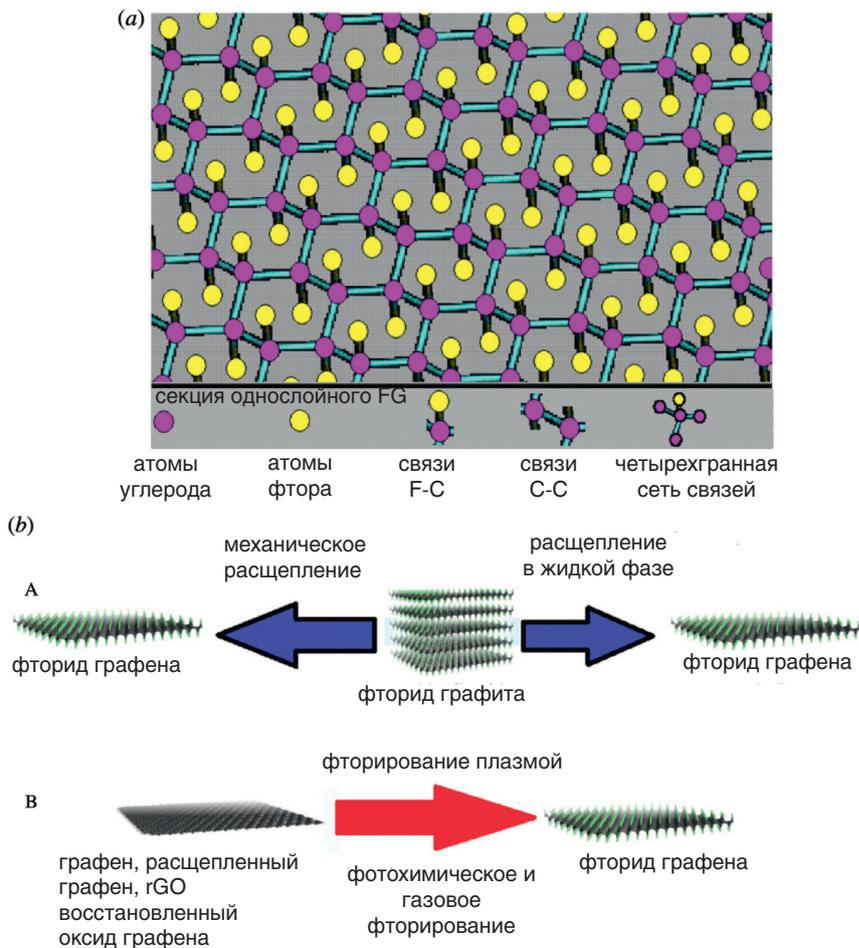


Рис. 6. Схема получения фторида графена (FG): а) структура FG, б) получение FG из фторида графита: А) путем расщепления, В) путем фторирования графена плазмой.

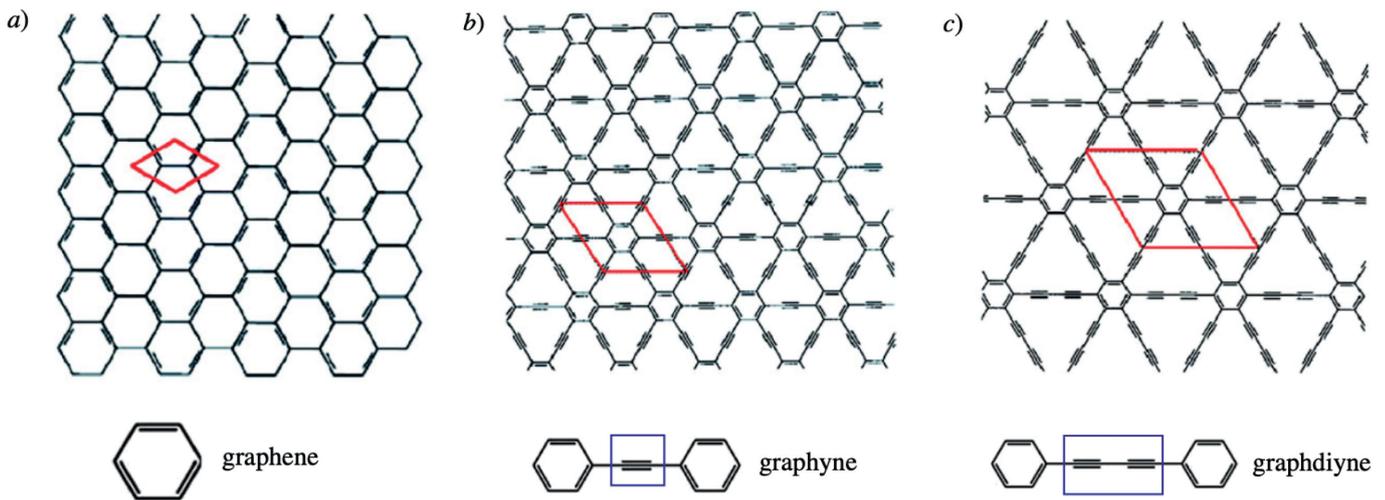


Рис. 7. Схема а) Graphene, б) Graphyne, в) Graphdiyne. Красным цветом выделена элементарная ячейка, синим цветом — связи между бензольными кольцами

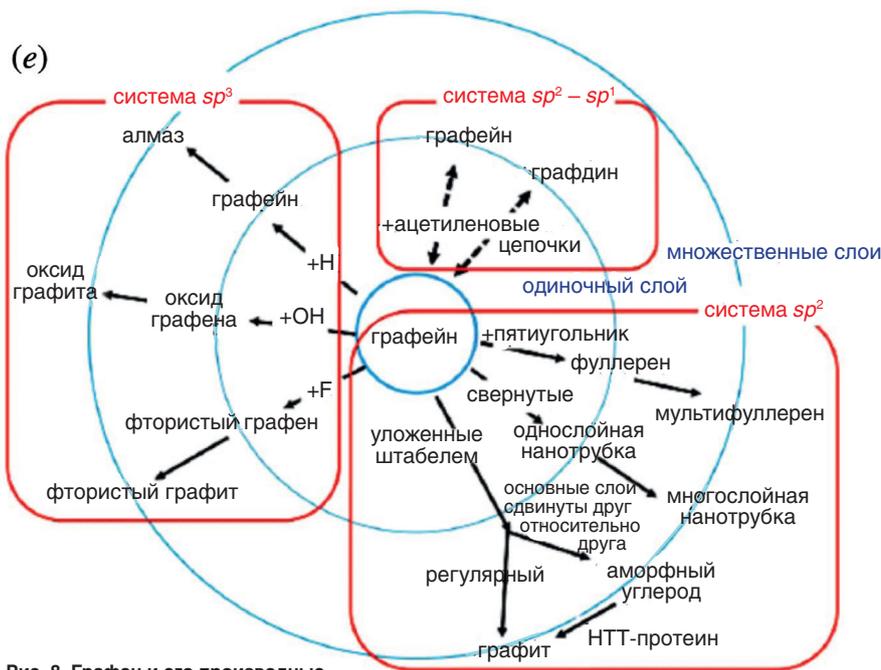


Рис. 8. Графен и его производные

в качестве легирующих добавок неметаллы (N, B, S, P, Se, O, Si, I) и металлы (Mn, Co, Ni, Al, Ti, Pd, Ru, Rh, Pt, Au, Ag) [9].

Особенно важно применение графена, легированного атомами B и N, в качестве сенсоров для различных биомолекул, для поддержания клеточных структур, для адресной доставки лекарств, в масс-спектрометрии. В целом на долю применений графена и его производных в биомедицине приходится сейчас более 63%.

ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА

На рис. 9 приведены различные способы получения графена, а в таблице 2 — сравнение некоторых из них по характеристикам получаемого графена.

Расслоение графита, который состоит из отдельных блоков графена, связанных слабыми электрическими силами Ван-дер-Ваальса, за счет разрушения этих связей механическим или химическим путем [11] позволяет получать графен в виде смеси многослойных листов (Platelets).

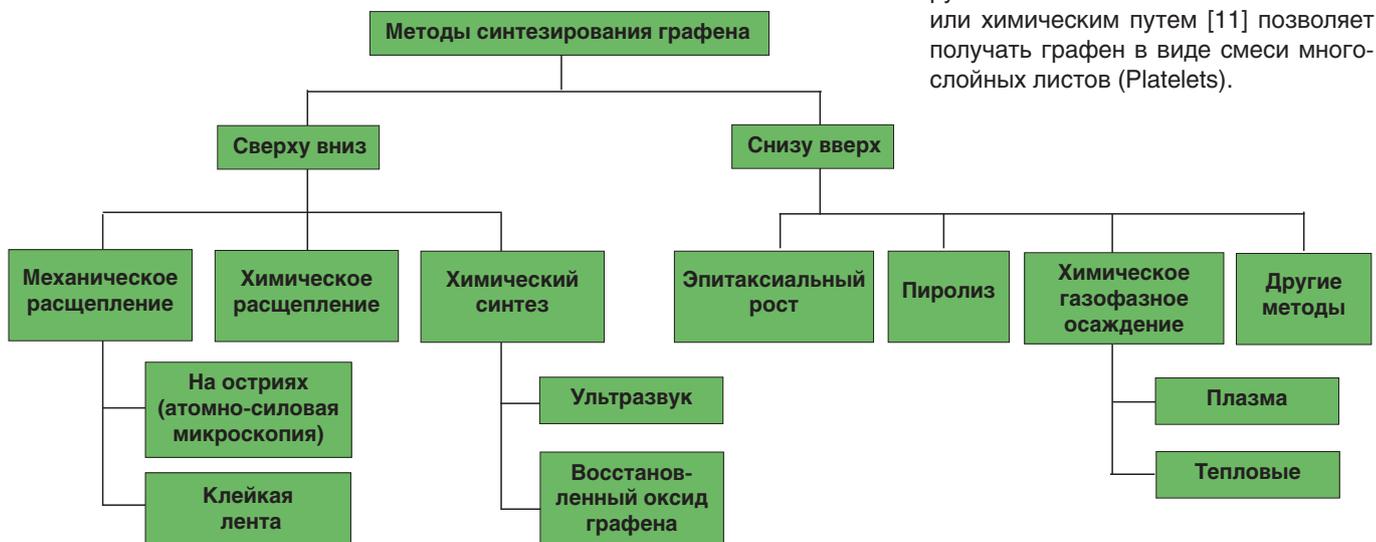


Рис. 9. Методы получения графена [10]

Таблица 2. Сравнение различных методов получения графена

Метод	Температура (°C)	Мобильность носителей заряда (см ² /В·с)	Размер кристалла (мкм)
Микромеханическое расщепление	20	> 10 ⁶	>1000
Коллоидная суспензия	20	100	<0,1
Химическое расщепление	~90	1	~100
Химическое осаждение из паровой фазы (CVD)	~1000	10000	1000
Эпитаксиальное выращивание	>1100	10000	50

Графеновые нанопленки, толщиной в десятки нанометров, можно получать с помощью метода химического нанесения пленки (CVD) за секунды при опускании нагретой Ni фольги в этанол, что в 100 раз быстрее традиционных способов. Можно использовать также фольгу разных металлов (Pt, Ni, Co, Cu) и гидрокарбонаты типа CH₄, C₂H₂, C₂H₄ при температурах 700–1300 °C. Толщина пленки определяется температурой фольги — она возрастает при повышении температуры. Поскольку между слоем графена и никелевой фольгой собираются молекулы водорода (как продукт пиролиза) и они препятствуют прочному соединению графеновой пленки с фольгой, то графеновую пленку несложно перенести на другую подложку (например, из PET-полимера), сохраняя Ni фольгу для последующего использования. При этом электропроводность пленки 2,6×10⁵ С/м и ее механические характеристики — прочность на разрыв 110 МПа — сопоставимы с другими способами получения пленки. Традиционный способ получения графитового покрытия с использованием оксида графена (GO) или нанослоев графена требует высокой температуры ~3000°C и нескольких часов выдержки.

Такие графитовые покрытия можно использовать для защиты от электромагнитного излучения (ЭМИ), для покрытия электродов в литий-ионных батареях, для антенн радиочастотного диапазона, в УФ-литографии и т.д. [12]. Такое покрытие обладает эффективностью в 481,000 дВ·см²/г в качестве защиты от электромагнитного излучения и превосходит все известные синтетические материалы [13]. Для примера: графеновая пленка толщиной в 385 нм снижает интенсивность ЭМИ в диапазоне 8,2–12,4 ГГц на 28 дБ, что означает блокировку 99,8% падающего излучения. Такие тонкие легкие покрытия на гибкой подложке, обладающие высокой прочностью и термостабильностью, найдут широкое применение в нано- и оптоэлектронике, гибкой электронике.

Качество получаемого графена на медной фольге выше, чем на других металлах, из-за низкой растворимости углерода в меди [14]. Метод используется для по-

лучения небольших количеств дорогостоящего высококачественного (практически без дефектов) графена на разных подложках.

CVD-метод получения графена из PMMC (полиметилметакрилат) или парафина предложен специалистами компании «Русграфен» (РФ) [15]. Метод использует осаждение углерода в виде монослоя графена на медной фольге при нагреве из смеси углеродсодержащего газа, водорода и инертного аргона и может использоваться для промышленного производства графена.

Метод получения графена за счет осаждения из газовой среды с использованием низкотемпературной плазмы в присутствии катализатора (PECVD). В качестве источника плазмы применяют генераторы с частотой 2,45 ГГц (MW — микроволновое излучение), 13,56 ГГц (RF — радиоизлучение), а также непосредственно плазму (DC) [16].

Химические методы получения графена из графита представляют собой традиционный путь без стадии расщепления. Природный графит после обработки кислородом и очистки подвергается диспергации в метаноле с последующей обработкой на центрифуге [17].

В другом химическом способе слои графита в смеси серной и азотной кислот подвергались быстрому нагреву до 1000°C, кислоты полностью испарялись, унося с собой графен, который затем осаждался на подложке.

Разновидность метода представлена в работе [18], где использовали в равных долях смесь натрия и этанола для приготовления прекурсора для последующего пиролиза.

Химические методы предназначены для массового производства графена.

Термическое разложение карбида кремния и других материалов — еще один способ получения качественного графена. При нагреве до 750°C никелевой фольги, покрывающей подложку со слоем SiC, атомы кремния удаляются, оставляя атомы углерода в виде графена. Способ позволяет получать графен высокой чистоты на больших поверхностях [19].

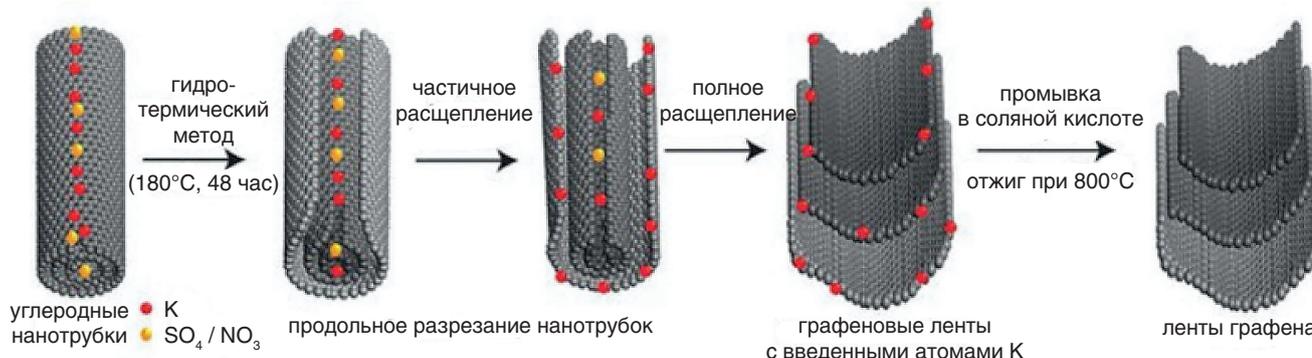


Рис. 10. Получение графена путем разрезания углеродных нанотрубок

Одна из первых технологий получения графена заключается в продольном разрезании многослойных углеродных нанотрубок путем введения в них Li, Na или аммиака с последующей обработкой в кислоте и отжигом при высокой температуре (рис. 10).

О КАЧЕСТВЕ GRM (graphene and related materials), ПРЕДЛАГАЕМЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ

В работе [20] описан подход к оценке качества графена (CAS #1034343–98–0) и его производных (GRM) и дано их сравнение от разных производителей со всего мира.

Оценка проводится по следующим параметрам в сравнении с идеальным графеном (рассматриваемый продукт не должен иметь более 5% дефектов):

- размер и толщина чешуйки (то есть количество однослойных листов графена в образце);
- степень расщепления;
- степень окисления;
- описание производителя.

Графен в сухом виде от производителя всегда встречается как смесь моно-, би- и многослойных чешуек, в отличие от оксида графена, который может быть в виде монослоя в водном растворе. Количество слоев графена в отдельной чешуйке обычно определяют с помощью рамановской спектроскопии.

Важной характеристикой промышленного графена является его удельная поверхность (SSA — specific surface area): для полностью расщепленного графена это примерно 2600 м²/г, для 10-слойного графена — 260 м²/г, для плохо расщепленного графена близко к значению графита 0,1 м²/г. Поэтому определение SSA по абсорбции газа (ASTM D6556–10), например, может показать качество образца промышленного графена — он ближе к идеальному графену или к графитовому порошку.

Стоимость промышленно произведенных GRM-образцов для широкого круга приложений составляет, по разным оценкам, <\$100 за кг, для сравнения, стоимость высококачественного монослойного графена, полученного методом CVD, в виде образца размером 100 мм будет \$450.

Промышленный графен всегда имеет целый набор дефектов, начиная от деформации сотовой структуры, характерной для идеального графена, и кончая присутствием других атомов, как, например, кислорода. Для определения характера примесей используют рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию (XPS), а для количественного определения примесей — инфракрасную спектроскопию. XPS-спектроскопия очень чувствительна к состоянию поверхности (наличию оксидов на ней) и дефектов в слое глубиной 3–10 нм. При этом избавиться от поглощенных молекул воды можно путем выдержки образцов в высоком вакууме не менее 24 часов.

В продолжении статьи будут рассмотрены возможные применения графена и его производных в энергетике, электронике, строительстве, медицине и других областях.

Николай Михайлович Максимов
e-mail: nikamax@gmail.com

Литература

1. Smog-eating graphene composite reduces atmospheric pollution: www.cam.ac.uk/research/news/smog-eating-graphene-composite-reduces-atmospheric-pollution
2. A nanotube material conducts heat in just one direction: Asymmetric conductors could revolutionize cooling systems for computers and other devices, by Emerging Technology from the arXiv, MIT Technology Review, 10th December 2019. www.technologyreview.com/s/614856/a-nanotube-material-conducts-heat-in-just-one-direction/
3. One-directional thermal transport in densely aligned single-wall carbon nanotube films. S. Yamaguchi, I. Tsunekawa, N. Komatsu, W. Gao, T. Shiga, T. Kodama, J. Kono, J. Shiomi: <https://arxiv.org/pdf/1911.11340.pdf>
4. Magic-angle graphene superlattices: a new platform for unconventional superconductivity, Yuan Cao, Valla Fatemi, Shiang Fang, Kenji Watanabe, Takashi Taniguchi, Efthimos Kaxiras, Pablo Jarillo-Herrero, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138, USA, May 22, 2018
5. B. Garg, T. Bisht, Y.— C. Ling, Graphene-based nanomaterials as heterogeneous acid catalysts: a comprehensive perspective, *Molecules* 19 (2014) 14582–14614.
6. Yang K., Feng L., Shi X., Zhuang L. 2013 Nano-graphene in biomedicine: theranostic applications. *Chem. Soc. Rev.* 42, 530–547. (doi:10.1039/C2CS35342C)
7. Boukhvalov DW, Katsnelson MI, Lichtenstein AI. 2008 Hydrogen on graphene: electronic structure, total energy, structural distortions and magnetism from first-principles calculations. *Phys. Rev. B.* 77, 035427. (doi:10.1103/PhysRevB.77.035427)
8. Peng Q., Dearden A. K., Crean J., Han L., Liu S., Wen X., De S. 2014 New materials graphyne, graphdiyne, graphone, and graphane: review of properties, synthesis, and application in nanotechnology. *Nanotechnol. Sci. Appl.* 7, 1–29. (doi:10.2147/NSA.S40324)
9. Agnoli S, Favaro M. 2016 Doping graphene with boron: a review of synthesis methods, physicochemical characterization, and emerging applications. *J. Mater. Chem. A* 4, 5002. (doi: 10.1039/c5ta10599d)
10. W. Choi, I. Lahiri, R. Seelaboyina, Y.S. Kang, Synthesis of Graphene and its applications: a review. *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* 35 (2010) 52–71.
11. S. S. Datta, D.R. Strachan, S.M. Khamis, A.T.C. Johnson, Crystallographic etching of few-layer Graphene, *Nano Lett.* 8 (2008) 1912–1915.
12. Kato, R.; Hasegawa, M. Fast Synthesis of Thin Graphite Film with High-Performance Thermal and Electrical Properties Grown by Plasma CVD Using Polycrystalline Nickel Foil at Low Temperature. *Carbon* 2019, 141, 768–773.
13. Second Time-Scale Synthesis of High-Quality Graphite Films by Quenching for Effective Electromagnetic Interference Shielding, Tianya Zhou, Chuan Xu, Haopeng Liu, Qinwei Wei, Han Wang, Jiangang Zhang, Tong Zhao, Zhibo Liu, Xuefeng Zhang, You Zeng, Hui-Ming Cheng, Wencai Ren, <https://dx.doi.org/10.1021/acsnano.9b08169>
14. D.A.C. Brownson, C.E. Banks, The electrochemistry of CVD Graphene: progress and prospects, *Chem. Phys* 14 (2012) 8264. www.rusgraphene.ru
15. M. Li, et al., Controllable synthesis of Graphene by plasma-enhanced chemical vapor deposition and its related applications, *Adv. Sci.* 3 (2016) 1600003.
16. S. Horiuchi, et al., Single Graphene sheet detected in a carbon nanofilm, *Appl. Phys. Lett.* 84 (2004) 2403.
17. M. Choucair, P. Thordarson, J.A. Stride, Gram-scale production of Graphene based on solvothermal synthesis and sonication, *Nat. Nanotechnol.* 4 (2009) 30–33.
18. Y. Pan, et al., Highly ordered, millimeter-scale, continuous, single-crystalline. Graphene monolayer formed on Ru (0001), *Adv. Mater.* 21 (2009) 2777–2780.
19. Benchmarking of graphene-based materials: real commercial products versus ideal graphene. A. Kovtun, E. Treoss, N. Mirootta, A. Sciddà, A. Liscio, M. Christian, F. Valerosi, A. Boschi, R. Young, C. Galiotis, I. Kinloch, V. Morandi, V. Palermo: <https://doi.org/10.1088/2053-1583/aaf6c6>

weldex 201

россварка

20-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ
ВЫСТАВКА СВАРОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ, ОБОРУДОВАНИЯ
И ТЕХНОЛОГИЙ

13-16
ОКТАБРЯ 2020

МОСКВА
КВЦ
СОКОЛЬНИКИ

ПОЛУЧИТЕ БЕСПЛАТНЫЙ
БИЛЕТ ПО ПРОМОКОДУ
wlx20iOASS

WWW.WELDEX.RU

Тел.: +7 (499) 750-08-28
E-mail: weldex@hyve.group

Официальная
поддержка:

 **МИНПРОМТОРГ
РОССИИ**



Генеральный
информационный
партнер:



Журнал
«Сварочное производство»





III ВОРОНЕЖСКИЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ 2020

МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА



ЛОГИСТИКА ЧЕРНОЗЕМЬЯ 2020

Межрегиональный форум-выставка

22-23 октября 2020



ПРАВИТЕЛЬСТВО
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ



Торгово-промышленная палата
Российской Федерации
В интересах бизнеса, во благо России



ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННАЯ
ПАЛАТА
ВОРОНЕЖСКОЙ
ОБЛАСТИ



Вета
ЭКСПО

Место проведения:
PLATINUM ARENA



тел. +7(473) 2 100-501

promforum36.ru

logistics@veta.ru
prom@tppvrn.ru



Expo
Coating
MOSCOW

ExpoCoating Moscow

18-я Международная выставка
материалов и оборудования
для обработки поверхности,
нанесения покрытий
и гальванических производств

27-29 октября 2020

Москва, Крокус Экспо

12+



Международная
Выставочная
Компания

Организатор — компания MVK : +7 (812) 380 6000

Офис в Санкт-Петербурге : expo coating@mvk.ru

Получите электронный билет
expo coating-moscow.ru

RUS WELD

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

19-22.10.20



Международная специализированная выставка
«Оборудование, технологии и материалы
для процессов сварки и резки»

www.rusweld-expo.ru

Организатор



Под патронатом



При поддержке



Реклама 12+



19–22.10.2020

12+

В рамках проекта «Наука-Технологии-Инновации Экспо»
международная политехническая выставка

ТЕХНОФОРУМ



www.technoforum-expo.ru

Организатор:



При поддержке:

- Государственной Думы Федерального Собрания РФ
- Министерства промышленности и торговли РФ

Под патронатом ТПП РФ

Реклама



«Оборудование
и технологии
обработки
конструкционных
материалов»

Россия, Москва,
ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

ПОДПИСНОЙ КУПОН НА ЖУРНАЛЫ



РИТМ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Вы можете оформить подписку на журнал «**РИТМ машиностроения**» с любого месяца. Стоимость одного номера — **250** рублей, стоимость годовой подписки (10 номеров) — **2500** рублей.

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

БАНКОВСКИЕ РЕКВИЗИТЫ:

ООО «ПРОМЕДИА»
Юр. адрес: 101000, г. Москва,
Милютинский пер., 18А
Почт. адрес: 101000, г. Москва,
Милютинский пер., 18А, оф. 36с
ИНН 7708266787
КПП 770801001
Р/с 40702810400120033781
ПАО АКБ « АВАНГАРД »
г. Москва
К/с 30101810000000000201
БИК 044525201

Фамилия, имя, отчество (получателя):

Наименование предприятия (организации, фирмы):

Индекс и полный почтовый адрес (получателя):

Юридический адрес (для выставления счета)

ИНН/КПП

Телефон:

E-mail (если он имеется)

Подписка на журнал «РИТМ машиностроения»: номер год

Подписка на журнал «Аддитивные технологии»: номер год



Вы можете оформить подписку на журнал «**Аддитивные технологии**» с любого месяца. Стоимость одного номера — **250** рублей, стоимость годовой подписки (4 номера) — **1000** рублей.

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



101000, Москва, Милютинский пер., 18А, оф. 36с, пом. 1, т/ф (499) 55-9999-8,

e-mail: ritm@gardesmesh.com, www.ritm-magazine.ru

e-mail: info@additiv-tech.ru, www.additiv-tech.ru