

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Главный редактор
Б.Е. Патон**

Ученые ИЭС им. Е.О. Патона
д.т.н. **С.И. Кучук-Яценко** (зам. гл. ред.),
д.т.н. **В.Н. Липодаев** (зам. гл. ред.),
д.т.н. **Ю.С. Борисов**,
д.т.н. **Г.М. Григоренко**,
к.ф.-м.н. **А.Т. Зельниченко**,
д.т.н. **В.В. Кныш**,
д.т.н. **И.В. Кривцун**, д.т.н. **Ю.Н. Ланкин**,
д.т.н. **Л.М. Лобанов**,
д.т.н. **В.Д. Позняков**,
д.т.н. **И.А. Рябцев**, д.т.н. **К.А. Юценко**
Т.В. Юштина (отв. секр.)

Ученые университетов Украины
д.т.н. **В.В. Дмитрик**, НТУ «ХПИ», Харьков,
д.т.н. **В.В. Квасницкий**,
НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», Киев,
к.т.н. **Е.П. Чвертко**,
НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского», Киев,
д.т.н. **М.М. Студент**, Физ.-механ. ин-т
им. Г.В. Карпенко НАНУ, Львов

Зарубежные ученые
д.т.н. **Н.П. Алешин**
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, РФ
д.т.н. **Гуань Цяо**
Ин-т авиационных технологий, Пекин, Китай
д.х.н. **М. Зиниград**
Ун-т Ариэля, Израиль
д.т.н. **В.И. Лысак**
Волгоградский гос. техн. ун-т, РФ
д-р инж. **У. Райсген**
Ин-т сварки и соединений, Аахен, Германия
д.т.н. **Я. Пилярчик**
Ин-т сварки, Гливице, Польша
д.т.н. **Г.А. Туричин**
С.-Петербургский гос. политехн. ун-т, РФ

Адрес редакции
ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ
03150, Украина, Киев-150,
ул. Казимира Малевича, 11
Тел.: (38044) 200 6302, 200 8277
Факс: (38044) 200 5484, 200 8277
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

Учредители
Национальная академия наук Украины,
ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ,
МА «Сварка» (издатель)

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001
ISSN 0005-111X
DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/as>

Рекомендовано к печати
редакционной коллегией журнала

Журнал входит в перечень утвержденных
Министерством образования и науки
Украины изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней

За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности не несет

Цена договорная
Подписной индекс 70031

Издается ежемесячно

СОДЕРЖАНИЕ

ОКТБ ИЭС им. Е.О. Патона — 60! 3

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

*Кривцун И.В., Демченко В.Ф., Крикент И.В.,
Коваленко Д.В., Коваленко И.В.* Влияние тока и длины
дуги на характеристики дугового разряда при сварке
неплавящимся электродом 6

*Квасницкий В.В., Квасницкий В.Ф., Матвиенко М.В.,
Бутурля Е.А., Ермолаев Г.В.* Напряженно-деформиро-
ванное состояние сварных и паяных узлов из разно-
родных материалов с мягкой прослойкой при терми-
ческом нагружении 18

*Борисов Ю.С., Борисова А.Л., Грищенко А.П.,
Вигилянская Н.В., Коломыцев М.В., Васильковская М.А.*
Структура и фазовый состав плазменных покры-
тий ZrB₂-SiC-AlN на поверхности композицион-
ного материала C/C-SiC 25

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Грузевич А.В., Дереча Д.А. Газопорошковое напыление
как высокоэффективный метод повышения надежности
работы энергетического оборудования 36

Юрженко М.В. Особенности технологии и современ-
ные тенденции в области стыковой сварки полиэти-
леновых труб (Обзор) 46

Сварка за рубежом

3D печать в судостроении 54

Новый проект в области аддитивных технологий 57

ХРОНИКА

Киевская техническая ярмарка – 2019 59

Информация

TransSteel 2200 компании Fronius 61

Пути развития современного промышленного
предприятия 63

Автоматичне Зварювання

Avtomaticheskaya Svarka (Automatic Welding)

Видається 12 разів на рік з 1948 р.

Published 12 times per year since 1948

Головний редактор **Б.Є. Патон**

Editor-in-Chief **B.E. Paton**

ЗМІСТ

CONTENTS

ОКТБ ІЕЗ ім. Є.О. Патона — 60! 3

PWI EDTB is 60! 3

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Кривцун І.В., Демченко В.Ф., Крикент І.В., Коваленко Д.В., Коваленко І.В. Вплив струму та довжини дуги на характеристики дугового розряду при зварюванні неплавким електродом 6

Krivtsun I.V., Demchenko V.F., Krikent I.V., Kovalenko D.V., Kovalenko I.V. Effect of current and arc length on characteristics of arc discharge in non-consumable electrode welding 6

Квасницький В.В., Квасницький В.Ф., Матвієнко М.В., Бутурля Є.А., Ермолаєв Г.В. Напружено-деформований стан зварних та паяних вузлів з різнорідних матеріалів з м'яким прошарком при термічному навантаженні 18

Kvasniitsky V.V., Kvasniitsky V.F., Matvienko M.V., Buturlya E.A., Ermolaev G.V. Stress-strain state of welded and brazed units from dissimilar materials with soft interlayer at thermal loading 18

Борисов Ю.С., Борисова А.Л., Грищенко А.П., Вігілянська Н.В., Коломицев М.В., Васильківська М.А. Структура та фазовий склад плазмових покриттів $ZrB_2-SiC-AlN$ на поверхні композиційного матеріалу C/C-SiC 25

Borisov Yu.S., Borisova A.L., Grishchenko A.P., Vigilanskaya N.V., Kolomiitsev M.V., Vasilkovskaya M.A. Structure and phase composition of $ZrB_2-SiC-AlN$ plasma coatings on the surface of C/C-SiC composite materials 25

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

INDUSTRIAL

Грузевич А.В., Дереча Д.А. Газопорошкове напилення як вискоєфективний метод підвищення надійності роботи енергетичного обладнання 36

Gruzevich A.V., Derecha D.A. Gas-powder spraying as a high-performance method of increase of operation reliability of power equipment 36

Юрженко М.В. Особливості технології та сучасні тенденції в області стикового зварювання поліетиленових труб (Огляд) 46

Yurzhenko M.V. Features of technology and modern trends in the field of butt welding of polyethylene pipes (Review) 46

Зварювання за кордоном

Welding abroad

3D друк в суднобудуванні 54

3D printing in shipbuilding 54

Новий проект в області адитивних технологій 57

New project in the field of additive technologies 57

ХРОНІКА

NEWS

Київський технічний ярмарок – 2019 59

Kiev Technical Fair 2019 59

Інформація

Information

Ефективне зварювання завдяки зварювальній системі TransSteel 2200 компанії Fronius 61

TransSteel 2200 of Fronius Company 61

Шляхи розвитку сучасного промислового підприємства 63

Ways of development of modern industrial enterprise 63

Журнал «Автоматичне зварювання» видається англійською мовою під назвою «The Paton Welding Journal»

«Avtomaticheskaya Svarka» (Automatic Welding) journal is republished in English under the title «The Paton Welding Journal»

Адреса редакції

Address

03150, Україна, м. Київ-150, вул.Казимира Малевича, 11
ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України
Тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-63-02
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

The E. O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine,
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine
Tel./Fax: (38044) 200-82-77, 200-63-02
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.patonpublishinghouse.com

ОКТБ ИЭС им. Е.О. Патона — 60!

Создавая в 1929 г. сварочную лабораторию в Киеве, Евгений Оскарович Патон считал своей основной задачей доказать с научной точки зрения возможность и необходимость использования электросварки в самых различных областях.

И только весной 1934 г. Институт, разбросанный до этого в различных помещениях, собрался под крышей здания на улице Горького и начал свою работу. Два направления деятельности Института в области испытания и проектирования сварных конструкций для механизации и автоматизации дуговой сварки, организационно оформились в виде отделов.

Работы по усовершенствованию дуговых автоматов Евгений Оскарович связывал с работой нового проектно-конструкторского отдела и весной 1937 г. на должность руководителя отдела был принят Платон Иванович Севбо. Он обладал достаточным опытом конструирования уникального оборудования для механизации процессов, к тому же взял на себя функции главного конструктора Института.

Дееспособность такой структуры была проверена самой жизнью.

Проектно-конструкторское бюро в 1939–1941 гг. продолжило работы по конструированию разнообразного оборудования для автоматизации сварки открытой дугой и под слоем флюса. В марте 1941 г. за большой вклад в разработку и внедрение разработанной аппаратуры для



ОКТБ сегодня. У макета бронетранспортера слева направо: зав. отд. ОКТБ В.Г. Пичак, директор ОКТБ Г.В. Жук, зам. директора ОКТБ И.В. Горячкин



скоростной автоматической сварки под флюсом Евгению Оскаровичу Патону была присуждена Государственная премия СССР.

К июню этого же года автоматическая сварка была освоена на 18 заводах страны.

Большую работу осуществляло проектно-конструкторское бюро в военные годы, проектируя установки для сварки корпусов и башен танков. В период 1941–1944 гг. Институт был эвакуирован в город Нижний Тагил и размещен на территории Уральского вагоностроительного завода.

В течение 1942–1943 гг. конструкторское бюро разработало более 40 различных установок для сварки узлов танков, авиабомб, артиллерийских систем и других видов вооружения, все разработки были внедрены на оборонных предприятиях Урала.

За выдающиеся успехи в механизации и автоматизации сварочных работ при изготовлении боевой техники 2 марта 1943 г. Е.О. Патону было присвоено звание Героя Социалистического труда, а Б.Е. Патон был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

В мае 1944 г. ИЭС возвратился в Киев. Е.О. Патон сосредоточил работы своих сотрудников на решение проблем по восстановлению и развитию народного хозяйства страны.

После смерти Е.О. Патона в 1953 г. Институт возглавил Борис Евгеньевич Патон. Продолжая внедрять идеи Е.О. Патона (структура Института по схеме «лаборатории — конструкторское бюро — опытное производство») в жизнь. В 1957 г. Совет Министров УССР издал постановление, которым предусматривалась организация Опытного-конструкторского бюро Института электросварки им. Е.О. Патона на хозяйственном расчете.

После завершения работ по организации ОКБ и оформления всей документации, приказом по Институту № 506а от 15 мая 1959 г., небольшой коллектив работников (100 человек) 16 мая 1959 г. приступил к работе.

В октябре 1978 г. ОКБ реорганизовано в Опытное конструкторско-технологическое бюро (ОКТБ).

С момента основания ОКБ возглавил д-р техн. наук А.И. Чертко — опытный конструктор, талантливый организатор, бесменно руководивший коллективом в течение 27 лет. В дальнейшем коллектив ОКТБ возглавляли В.Ф. Мошкин, С.И. Притула, В.С. Романюк и в настоящее время Г.В. Жук.

В тесном сотрудничестве с учеными и специалистами ИЭС, коллективом ОЗСО, ведущими предприятиями Украины, ОКТБ на протяжении 60 лет создает оборудование для различных механизированных способов сварки, внедряет в производство законченные научно-исследовательские разработки.

Разработки ОКТБ в области оборудования для осуществления многофункциональных сварочных и родственных технологий широко известны в Украине, странах ближнего зарубежья и в мире.

Сегодня коллектив ОКТБ продолжает творческую работу по созданию новых образцов сварочного оборудования, которое находит применение практически во всех областях промышленности, металлургии, строительстве, при подводных работах и даже в медицине.

Приоритетными направлениями деятельности современного ОКТБ являются:

- разработка оборудования и технологии для автоматической и механизированной дуговой MIG/MAG сварки с импульсными алгоритмами работы. Управляемый обратными связями по параметрам дугового процесса, дозированный по объему каплеперенос дает возможность более эффективно перераспределять погонную энергию нагрева высокотемпературной и низкотемпературной околошовных зон, что позволяет сохранить баланс фаз аустенитно-ферритной микроструктуры металла в зоне теплового влияния.

В ОКТБ проводятся работы по оптимизации управления технологическими процессами при дуговой автоматической и полуавтоматической MIG/MAG сварке спецсталей:

- аустенитные нержавеющие стали типа AISI 304 (аналоги DIN 1.4301 и 08X18H10);
- ферритные нержавеющие стали типа AISI 430 (аналоги DIN 1.4016 и 42X47);
- дуплексные нержавеющие стали типа AISI 2205 (аналоги EN1.4462 и X2Cr22Ni5Mo3N).

- Разработка оборудования, технологии и сварочных материалов для дуговой подводной сварки и резки «мокрым способом», с помощью которого можно осуществлять:

- ремонт нефте-, газо- и других трубопроводов;
- ремонт корпусов судов на плаву;
- ремонт портовых сооружений;
- восстановление стационарных плавающих платформ и причалов;
- разделке затонувших кораблей, отработанных нефтепроводов при очистке прибрежных акваторий.

Наше оборудование позволяет существенно повысить производительность сварочных работ, снизить расход сварочных материалов и потребление электроэнергии при выполнении сварки и резки металлоконструкций во всех пространственных положениях как в пресной, так и в морской воде на глубинах до 200 м.

- Разработан комплекс оборудования и технология для автоматической дуговой подводной сварки «мокрым способом» внутри вертикальных трубных сооружений, с помощью которого можно обеспечить приварку заглушек к внутренней поверхности трубы с минимальным внутренним диаметром 119...130 мм на удалении объекта сварки на расстояние более 200 м.

Комплекс прошел производственную апробацию на объектах «GFE», г. Лондон, где обеспечил надежную герметизацию труб теплообменника энергосберегающих систем на глубинах до 230 м. Комплекс АДСП-200 является базой для автоматов других назначений, например, при заглушке (глушении) труб нефтяных и газовых месторождений и обрезке этих труб на разных глубинах.

- Разработка оборудования и технологии для дуговой приварки шпилек (болтов, стержней, штифтов, шипов, упоров и т. д.) при выполнении работ в высотном строительстве при возведении стальных конструкций, в монолитном строительстве, в мостостроении, энергетике. Разработанные установки обеспечивают приварку шпилек из низкоуглеродистых и нержавеющих сталей диаметром от 2,0 до 30,0 мм в среде защитных газов, под флюсом, в защитных керамических кольцах, а также без защиты и могут применяться в стационарных и монтажных условиях.

- Направление механизации и автоматизации сварки корпусов легкобронированной техники для Укроборонпрома и заказчиков также является одним из приоритетных для ОКТБ. С участием ОКТБ спроектирован, оснащен сварочным и механическим сварочным оборудованием и запущен в эксплуатацию завод по производству легкобронированной техники на территории заказчика в дальнем зарубежье.

Наша история очень богата. Мы сознательно не пытались перечислять выдающиеся разработки внедренного оборудования, количество наград и премий, полученных за эти годы сотрудниками нашего конструкторского бюро, так как основное достижение ОКТБ — это люди, которых судьба связала с нашим предприятием. Тысячи фамилий останутся на страницах истории ОКТБ и с уверенностью можно сказать, что результаты их труда всегда будут примером верности служения родному Опытному конструкторско-технологическому бюро Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.

Жук Г.В., Горячкин И.В., Пичак В.Г.

3D ПЕЧАТЬ В СУДОСТРОЕНИИ

Морская индустрия в целом не спешит принимать концепцию 3D печати. Использование непрерывного осаждения жидких металлов при программном управлении компьютера создало возможности для производства изделий сложных форм, таких как, например, поковки и отливки, избегая при этом необходимости в дорогой оснастке и временных задержек на изготовление пресс-форм. Несмотря на медленное начало, работы по разработке 3D технологий в Техническом университете Делфта в 2017 г. привели к производству первого в мире гребного винта путем осаждения металла. Большинство опубликованных материалов по 3D печати были недостаточно подробны, особенно в области медицины. Хотя и они иллюстрируют производство небольших сложных форм как процесс медленный и дорогой. Меньше публикаций, описывающих производство, в которых крупные технические изделия с использованием металлов производятся быстрее и с меньшими затратами, чем при использовании традиционных методов, таких как литье иковка.

Концепция 3D печати. Несколько методов для трехмерной печати с использованием металлов в настоящее время регулярно применяются специализированными организациями. По сути, они включают использование целевого источника тепла для плавления или спекания металлических сплавов при постепенном построении сложной трехмерной формы. Комплектуется компьютерная система с ЧПУ обычно многоосным роботом и направляющим источником тепла. Твердый металл в виде проволоки или порошка подается и плавится от источника тепла.

Один вариант использует лазер или электронный луч в качестве источника тепла в сочетании с металлическим порошком. Спекание происходит с помощью прямого лазера — Direct Metal Laser Sintering (DMLS) или электронного луча — Direct Metal Electron Beam Sintering (DMEBS). Эта порошковая техника наиболее эффективно применяется там, где требуется изготовить небольшие, delicate предметы. Примером является производство имплантатов тела [1–3].

При сварочной версии 3D печати «проволока-дуга» — Wire and Arc Additive Manufacture (WAAM) выполняется укладкой жидких капель из металла (рис. 1). Эта техника больше подходит для производства более крупных и тяжелых инженерных компонентов, о чем свидетельствует производство морских изделий и конструкции планера [4–6].

По сравнению с применением процессов WAAM и DMLS/DMEBS, сварочная версия наиболее подходит для производства более тяжелых и крупных продуктов, в то время как порошковая альтернатива лучше всего применяется там, где необходимо получение более мелких со сложной формой изделий. Другими словами, сварка — это, по сути, метод объемного наращивания, а использование порошка — это точный и строго контролируемый процесс.

Примеры производства WAAM. Несколько достижений в области 3D производства были получены и уместно проиллюстрировать их дости-

жения применительно к морской промышленности (рис. 1–4).

Движущие силы по развитию WAAM. Основной движущей силой развития является потенциал в части значительной экономии материалов. Одна конкретная область применения — производство планеров. Многие компоненты в настоящее время выполняются путем механической обработки из цельной заготовки послековки, при этом более 50 % исходного материала теряется в виде стружки. Другая рассматриваемая область — производство шасси, где ожидаемая экономия материала составляет 70 % при использовании аддитивного производства.

Текущая активность. Аддитивное изготовление изделий определяет несколько преимуществ, таких как значительное сокращение потерь материала, особенно при производстве многих разнородных деталей, и способность быстро создавать большое разнообразие изделий для опытных работ.

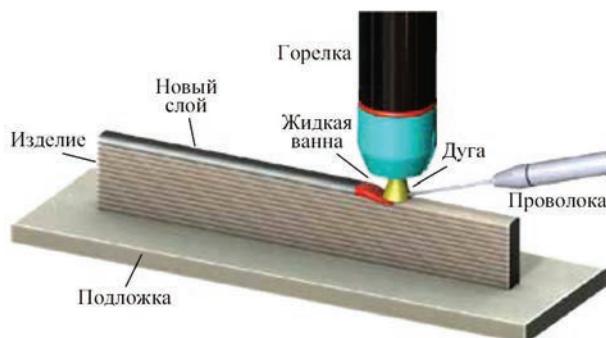


Рис. 1. Иллюстрация процесса WAAM



Рис. 2. Винт 200×240×240 мм (материал: 1.5125 G3Si1)



Рис. 3. Корпус колокола 230×380×380 мм (материал — алюминевый сплав)

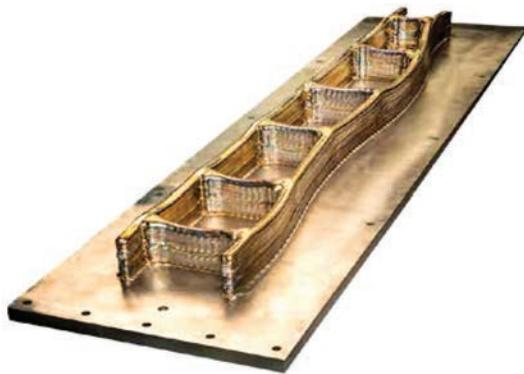


Рис. 4. Основной конструктивный элемент крыла самолета

Существует также ключевое преимущество, заключающееся в том, что процесс позволяет рассматривать возможности получения нетрадиционных конструкций, которые в противном случае невозможно практически изготовить из-за производственных или стоимостных ограничений, например, из-за сложных или необычных геометрий, сопровождающихся необходимостью решения ряда проблем.

Ранняя работа в Rolls-Royce в Университете Крэнфилд была направлена на применение 3D печати в производстве авиационных двигателей. Исследователями был разработан процесс осаждения «проволока + дуга» для изучения возможности использования в качестве конструкционных материалов инконеля, титана, алюминия и различ-

ных никелевых сплавов. С тех пор акцент сместился на изготовление планеров. Хотя «лазер + порошок» полезны для определенных применений, таких как быстрое прототипирование или для получения очень небольших и сложных деталей, эта технология ограничена из-за своей низкой скорости и ограниченных размеров компонентов, которые можно точно изготовить. Напротив, процессы, разрабатываемые в Крэнфилд, рассчитаны на высокие скорости осаждения. Центр Крэнфилда в настоящее время нацелен на уровень осаждения 10 кг/ч, по сравнению с обычными 0,1 кг/ч, используя «лазер + порошок», при котором может потенциально быть риск того, что материал не будет полностью уплотнен, если не произошло спекание между частицами порошка.

Аддитивные дуговые и проволочные системы также позволяют изготавливать детали размером несколько метров и упрощают процесс производства цельных линейных изделий.

Группа Damen Shipyards вошла в совместный консорциум с RAMLAB, Promarin, Autodesk, Бюро Веритас и разработала первый класс утвержденных гребных винтов. Ранняя работа по производству первого в мире винта WAAM в 2017 г. была прекращена [8]. Она была основана на дизайне Promarin, обычно встречающийся на буксире Damen Stan типа 1606 (рис. 5).

Стоимость оборудования. Технология порошкового осаждения требует организации системы, включающей лазерный или электронно-лучевой источник тепла, компьютерное оборудование для числового управления и устройство дозирования порошка. Типичная стоимость производственной системы составляет 750000 дол. Система с осаждением проволоки со стандартным оборудованием для дуговой сварки в сочетании с шарнирным роботом с 5 осями, обходится в 120000 дол. [9]

Стоимость расходных материалов. В настоящее время доступно только ограниченное количество металлических сплавов для аддитивного производства с использованием порошков, в основном это сплав Ti-6Al-4V, некоторые нержавеющие стали, Inconel 625/718 и Al-Si-10Mg. Стоимость порошков многих нержавеющих сталей находится в районе 400 долл./кг. Гораздо меньше проблем, когда дело доходит до процесса сварки плавлением. Существует широкий спектр сварочных проволок, большинство из которых можно использовать для осаждения дугой. Из-за большого количества производимых проволок ее стоимость не столь высока. Как правило, присадочная проволока из нержавеющей стали легко доступна по цене 30 дол./кг.



Рис. 5. Бронзовый винт 1300 мм, 180 кг

Сравнение производства «проволока + дуга» (WAAM) и «луч + порошок» (DMLS/DMEBS)

Присадочные металлы	WAAM	DMLS/DMEBS
	Широкий выбор. Все стандартные присадочные проволоки легко доступны	Ограничен выбор. Порошки, как правило, должны быть специально изготовлены
Стоимость присадочных материалов	Низкая	Высокая
Стоимость оборудования	Низкая. Стандартное оборудование для дуговой сварки с газовой защитой	Высокая. Специальное высокоточное оборудование
Скорость осаждения	Высокая, 10 кг/ч	Низкая, 0,1 кг/ч
Применение	Большие и тяжелые детали массой свыше 5 кг и размером более 460 мм	Мелкие и легкие детали с высокой точностью: протезы и компоненты аэрокосмической техники
Прочность	Как правило на уровне исходного материала	Доступная информация ограничена, но в общем хорошая
Преимущества/недостатки	Низкая стоимость После нанесения часто необходима механическая обработка	Высокая стоимость. Точное нанесение позволяет получать почти готовые детали

Скорость осаждения. Скорость осаждения порошка очень низкая и составляет в среднем 0,1 кг/ч. С развитием технологий она может существенно увеличиваться, но в настоящее время это сильно ограничивает применение. В процессе «проволока + дуга» производительность составляет 10 кг/ч для широкого спектра металлических сплавов (таблица).

Ограничения процесса. Многие сплавы могут быть использованы во время процесса WAAM при использовании в качестве защиты инертного газа сварочной горелки. Однако некоторые материалы гораздо более склонны к взаимодействию с остаточным кислородом, и это может привести к поверхностному окислению. Титановые сплавы особенно чувствительны, но нержавеющая сталь и многие низколегированные стали также требуют дополнительной защиты инертным газом.

При электронно-лучевом процессе обеспечивается защита, поскольку операции выполняются в вакууме. Тем не менее, это дорогая альтернатива дуговой сварке.

Преодоление проблемы загрязнения кислородом. Проблема адекватной защиты была решена путем разработки гибких корпусов, которые могут продуваться инертным газом, обычно аргоном. Они могут вместить все сварочное оборудование и робот и обеспечить защиту инертного газа в течение всего процесса осаждения.

Гибкая технология корпусов. С момента появления концепции были достигнуты значительные успехи в разработке корпусов еще более двух десятилетий назад. Например, Huntingdon Fusion Techniques Ltd [10] возглавил кампанию по разработке системы специально для сварочной промышленности. Эти инновационные продукты предлагают значительную привлекательность как альтернативу вакууму и «перчаточному ящику», не в последнюю очередь значительно снижающую стоимость.



Рис. 6. Небольшая гибкая система. Интерфейс робот/корпус эффективно защищен от утечек, используя адаптируемое замыкание. Шкафы объемом до 27 м³ были изготовлены для размещения больших систем

Самый большой объект на сегодняшний день составляет 27 м³, достаточный для размещения всех заготовок, сварочного оборудования и даже программируемой роботизированной системы. Корпус продувается инертным газом, содержание кислорода достаточно низкое, чтобы предотвратить окисление во время сварки и охлаждения.

Мониторинг содержания кислорода. Контроль и мониторинг в реальном времени содержания кислорода в продувочном газе имеет решающее значение. Методы измерения содержания кислорода были доступны в течение десятилетий, но только недавно были разработаны специальные инструменты для сварки. Пользователи все чаще требуют полного отсутствия изменения цвета осаждаемого металла и потери коррозионной стойкости, что подразумевает продувку систем. Содержание кислорода в газе должно составлять всего 20 частей на миллион (0,002 %). Очень немногие мониторы продувки кислородом способны соответствовать этой чувствительности, но инструменты PurgEye (рис. 7) удовлетворяют всем требованиям.



Рис. 7. Небольшая гибкая система. Усовершенствованный монитор кислорода включает цветной сенсорный экран-контроль. Прибор поддерживает регистрацию данных и сертификацию сварных швов. Показания точны до 10 промилле

Заключение. Основным преимуществом 3D печати является то, что она открывает возможности для производства изделий со сложным дизайном, в противном случае это не может быть практичным или экономичным решением. С точки зрения применений для WAAM и DMLS/DMEBS сварочная версия наиболее подходит для более тяжелых и крупных продуктов, в то время как по-

рошковая альтернатива лучше всего применяется там, где изделия небольшие и сложные по форме.

Многие сплавы должны быть защищены от загрязнения во время операции сварки. Формирование оксидов металлов может снизить коррозионную стойкость и повлиять на механические свойства. Использование эффективной бескислородной среды инертного газа имеет важное значение.

Список литературы

1. Cancer patient receives first 3D printed sternum and rib cage. Orthopaedics and Spine, July 2017.
2. Direct metal laser sintering, Bertol et al, Materials & Design, 2010.
3. Laser-Based Additive Manufacturing Processes. Woodhead Publishing, 2018.
4. World's first class approved 3D printed propeller. International Institute of Marine Surveying, May 2017.
5. Design for Wire and Arc Additive Layer Manufacture. Mehnen et al. 20th CIRP Design Conference, Nantes April 2010.
6. Wire & Arc Additive Manufacturing. Williams et al, Materials Science & Technology 2016 Vol 32.
7. Williams S. WAAM Current and Future Developments. Additive Manufacturing for Aerospace, Defence and Space conference. London, March 2016.
8. Damen shipyards release further details about world's first 3D printed propeller. 3D Printing Industry. September 2017.
9. Wire+arc additive manufacturing vs. traditional machining from solid: a cost comparison. Martina F.
10. Huntingdon Fusion Techniques Ltd, UK.

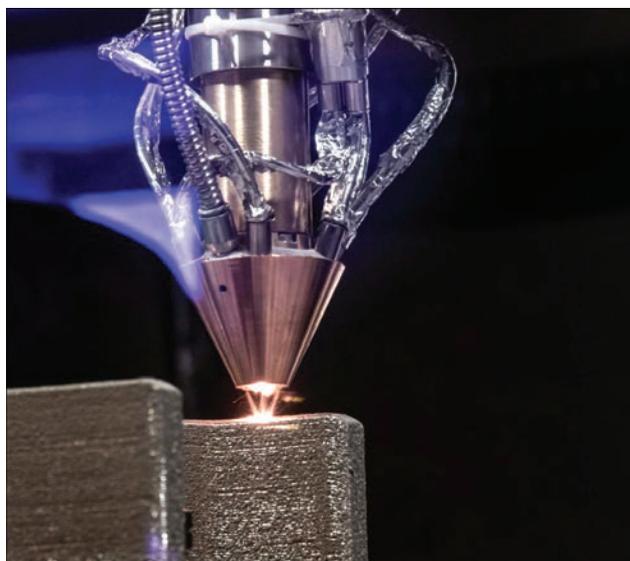
М. Флетчер (по материалам «White Paper»)

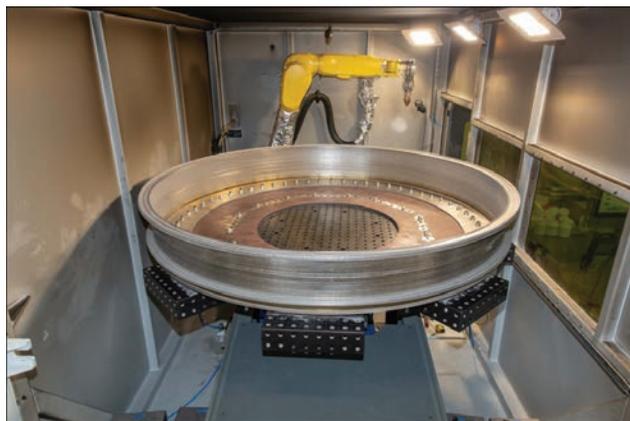
НОВЫЙ ПРОЕКТ В ОБЛАСТИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С апреля 2017 г. Санкт-Петербургский государственный морской технический университет является головным исполнителем в России крупного комплексного проекта в сфере аддитивных технологий — «Создание производства точных крупногабаритных заготовок из высокопрочных и жаростойких сплавов на основе гибридных ми-

крометаллургических процессов формообразования для перспективных двигателей авиационно-космической, наземной и морской техники».

Для создания высокотехнологичного производства в СПбГМТУ разрабатывается технологический процесс прямого лазерного выращивания точных титановых заготовок с размером до 2,1 м.





Также проектом предусмотрены: разработка, изготовление и ввод в эксплуатацию на площадке предприятия–партнера технологической установки прямого лазерного выращивания.

В настоящее время в Институте лазерных и сварочных технологий СПбГМТУ изготовлена и испытывается уникальная, не имеющая аналогов роботизированная установка прямого лазерного выращивания крупногабаритных заготовок. Двухкоординатный рабочий стол грузоподъемностью 1,5 тыс. кг позволяет обрабатывать изделия диаметром более 2 м.

Технологический инструмент перемещается с помощью шестиосевого промышленного робота-манипулятора. Для увеличения досягаемости робот установлен на дополнительную линейную ось. Таким образом, кинематическая схема установки имеет девять синхронно управляемых осей, что обеспечивает возможность выращивания изделий сложной пространственной конфигурации.

Герметичная камера позволяет создать контролируемую рабочую атмосферу с содержанием кислорода менее 100 ppm. Система подачи порошка имеет 2 колбы объемом по 5 л и обеспечивает расход порошка до 5 кг/ч. При этом встроенный функционал позволяет контролировать количество порошка в колбе, информировать оператора о необходимости загрузки порошка, а также переключать подачу порошка с колбы на колбу в автоматическом режиме по заданному алгоритму. На данный момент это самая крупногабаритная машина в линейке аддитивных установок, разработанных в СПбГМТУ.

После проведения предварительных испытаний установка будет передана предприятию-заказчику. Пуско-наладочные работы на территории заказчика запланированы на май 2019 г. В настоящее время организовано обучение специалистов заказчика.

Иллюстративным фрагментом результатов этого проекта является получение заготовки внеш-

него кольца авиационного двигателя, изготавливаемого из отечественного титанового сплава. Максимальный диаметр заготовки превышает 2 м, масса достигает 80 кг.

В ходе предварительных испытаний технологического процесса прямого лазерного выращивания был изготовлен первый опытный образец данной детали. Это, без преувеличения, уникальный опыт (не только российский, но и мировой).

Изготовлению этого образца предшествовали полномасштабные всесторонние теоретические и экспериментальные исследования: были разработаны математические модели процесса, проведено большое количество металлографических исследований, томографии и рентгенографии образцов, механических испытаний, определены оптимальные режимы и стратегии выращивания, изготовлено несколько макетов.

Разработка технологии шла совместно с разработкой технологической установки. Таким образом, технологические особенности учитывались при проектировании оборудования, а технические характеристики оборудования учитывались при разработке технологии.

В ходе выращивания опытного образца было применено несколько новых технических решений, которые в настоящее время находятся в стадии правовой защиты. Например, выращивание горизонтальным лазерным лучом, использование «динамической» подложки для борьбы с образованием трещин, технологические приемы увеличения производительности процесса, прогнозирование термических деформаций и их учет в технологической модели изделия при генерации управляющей программы для обеспечения требуемой точности построения.

Внедрение технологии прямого лазерного выращивания позволяет значительно снизить производственную себестоимость изготовления деталей такого класса за счет снижения временных затрат (выращивание заняло чуть больше 130 ч), повышения коэффициента использования материала, снижения затрат на последующую механическую обработку.

При этом механические свойства выращенного материала не уступают металлопрокату и значительно превосходят свойства литья, что подтверждено результатами механических испытаний, проводимых как в лабораториях университета, так и в лабораториях организаций-партнеров, а также в независимых лабораториях, включая Центральную заводскую лабораторию.

Реализация проекта рассчитана на срок до декабря 2019 г.

А. Бутенин, пресс-секретарь СПбГМТУ

КИЕВСКАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ ЯРМАРКА – 2019

2–5 апреля в Киеве на территории Международного выставочного центра состоялась XI Международная специализированная выставка «Киевская Техническая Ярмарка – 2019». Организатором выставки является ООО «Международный выставочный центр». Главная цель выставки — это демонстрация лучших достижений науки, техники и технологий, необходимых для инновационного развития экономики Украины, а также содействие в установлении деловых, экономических и торговых связей между отечественными предприятиями и странами ближнего и дальнего зарубежья. Специализированная выставка позволяет предприятиям ознакомиться с мировыми новинками в своей области и продемонстрировать собственные разработки, выверить конкурентоспособность своей продукции. Киевская техническая ярмарка — это логическое продолжение Международного промышленного форума, крупнейшей отраслевой выставки Украины, которую Международный выставочный центр более 17 лет подряд проводит в последнюю неделю ноября.

Тематика выставки включала демонстрацию достижений в области машиностроения, металлургии, сварки, резки, 3D технологий, металлообработки, диагностики и автоматизации управления, обработки поверхности, производства инструментов, двигателей, литейного оборудования, насосного оборудования, неметаллических материалов в промышленности, которые представили фирмы из 12 стран.

Посетитель получил возможность ознакомиться с широким спектром продукции разнообразных предприятий в условиях здоровой и честной конкуренции; возможность получить консультацию непосредственно от производителя и задать все интересующие вопросы.

Каждый день был ярким и насыщенным. Помимо новейших технологических разработок посетителям также запомнились образовательные семинары и конференции, которые проходили на открытых конференц-площадках и в конференц-залах. Специалисты ведущих компаний отрасли поделились своим опытом с коллегами, рассказали об особенностях и перспективах развития Украины на мировом рынке.

Выставка дала возможность компаниям-производителям и заказчикам встретиться в конкурентных условиях и принять решение, исходя из частных критериев, увидеть оборудование воочию, протестировать его рабочие мощности, лично пообщаться с первыми лицами компании.

Большой интерес у посетителей и участников вызвал семинар по 3D печати, проведенный 4 апреля на открытом дискуссионном пространстве выставки. Были представлены следующие доклады:

– «3D печать металлическими сплавами. Технология послойного лазерного плавления как основной инструмент современного машиностроения», ООО «Аддитивные Лазерные Технологии Украины», Днепр. Компания предлагает технологии и оборудование для получения изделий из металлических сплавов методом 3D печати; комплексные инновационные решения для лазерного аддитивного производства; производство 3D принтеров на основе технологии прямого лазерного спекания (DMLS); разработку и изготовление промышленных прототипов и частей газотурбинных двигателей, в том числе изготовление металлических изделий сложной геометрии.





– «Применение 3D печати в медицине», ООО «Вива Арт», Киев. Компания специализируется в продаже профессиональных принтеров для 3D печати и всех необходимых материалов для создания собственного производства 3D моделей. Оказывает услуги по 3D печати: печать из пластика, цветная печать гипсом, кобальт-хромом. Сканирование как мелких объектов, так и скан в рост человека.

– «Промышленные технологии 3D печати — полимеры, металл, керамика». Компания «Смарт-принт», Киев. Является ведущей компанией в Украине по технологии 3D печати, является аккредитованным поставщиком ГК «Укроборонпром». Компания выполняет индивидуальные и серийные заказы по 3D печати.

– «Simufact Additiv — 3D моделирование процессов печати металлами», Инженерная компания «Технополис», Киев. Является системным интегратором и авторизованным партнером ведущих разработчиков инженерного программного обеспечения.

– «3D печать для промышленных предприятий», ООО «Иматек Эско», Киев. Компания является эксклюзивным представителем компании 3D Systems Inc. (США) в Украине. С 2005 г. занимается внедрением решений на основе 3D принтеров, 3D сканеров и услуг 3D печати. Работает с предприятиями и компаниями в области автомобилестроения, архитектуры, медицины. Занимается продажей широкоформатных принтеров и сканеров компаний ROWE (Германия), Contex (Дания) и программных решений для автоматизации документооборота на предприятиях.

Традиционно в ярмарке приняли участие ООО «Арамис», ООО «Витаполис», ООО «Триада Сварка», ООО «Фрониус Украина», предлагающие оборудование для сварки и резки, сварочные материалы и услуги по интеграции промышленных роботизированных сварочных комплексов.

На стенде издательства ИЭС им. Е.О. Патона были представлены журналы, книги, тематические сборники и сборники трудов конференций, опубликованные в 2018–2019 гг. Как всегда большой интерес у посетителей вызвал журнал «Автоматическая сварка» — ведущий журнал Украины в области сварки, резки, наплавки, напыления и 3D технологий.

А.Т. Зельниченко

Эффективная сварка благодаря сварочной системе TransSteel 2200 компании Fronius*

Для сварки стали нужен прочный и надежный аппарат, способный безупречно работать даже в сложных условиях, которые часто встречаются в строительстве, сельском хозяйстве и производстве металлоизделий. Инновационная система TransSteel 2200 — это первый на рынке однофазный инверторный источник питания для сварки MIG/MAG, который поддерживает несколько процессов и обеспечивает эффективную сварку стали. Мультисистема TransSteel 2200 обеспечивает наилучшее качество при сварке MIG/MAG, TIG, а также при сварке стержневым электродом. На сегодняшний день доступны и другие модели: TransSteel 2200/2700/3500C.

Универсальный источник TransSteel 2200 признан лучшим продуктом 2018 г. и победил сразу в двух номинациях. Во-первых, мультисистема получила премию Plus X Award как «Лучший продукт 2018», а во-вторых, этот компактный универсальный источник был отмечен наградой Red Dot Design Award.

TransSteel 2200 компании Fronius был избран Лучшим продуктом 2018 г. в категории профессионального оборудования. Plus X Award является выдающейся премией за инновации в области технологий, спорта и предметов быта, ее кредо — предоставлять потребителям надежный ориентир. Экспертное жюри, в которое входят представители различных отраслей, отбирает продукты по следующим критериям: инновационность, дизайн, высокое качество, легкость использования, функциональность, эргономичность и экологичность. Продукту, который наберет больше всего баллов по всем категориям в своей группе, присуждается специальная награда «Лучший продукт года».

Сварочный источник TransSteel 2200 подходит для широкого спектра сварочных процессов и применения в различных отраслях. Его основное предназначение — сварка стали в мастерских, сборочные и ремонтные работы, а также работы по техническому обслуживанию. Этот продукт определяется непревзойденными характеристиками сварки для всех процессов. Для изготовления его конструкции использовались материалы высокого качества, которые обеспечивают первоклассную работу. Кроме того, Fronius применяет прочные материалы, в частности, высокопрочный пластик, что гарантирует высокое качество и долговечность устройства. Аппарат массой всего 15,5 кг идеально подходит для портативного применения и отличается прочным корпусом.

Одно из главных преимуществ TransSteel 2200 — разнообразные сварочные характеристики, включая характеристики для сварки алюминия и медно-кремниевых сплавов. Также инверторный источник питания для сварки MIG/MAG оснащен вторым газовым магнитным клапаном, который позволяет легко переключаться с процесса MIG/MAG на процесс TIG. Сварщики оценят удобство дисплея и простоту навигации меню: панель управления TransSteel 2200 удобная и интуитивно понятная. TransSteel 2200 также

* Статья на правах рекламы.



Мультисистема TransSteel 2200 обеспечивает наилучшее качество при сварке MIG/MAG, TIG, а также при сварке стержневым электродом



Технология компенсации коэффициента мощности (PFC) позволяет использовать более длинные сетевые кабели, увеличивая радиус действия устройства



Компания Fronius разработала серии TransSteel 2200/2700/3500C для портативного использования. В исследовательской лаборатории компании мультисистемы прошли все необходимые испытания на нагрузку и оказались значительно надежнее, чем предусматривают необходимые стандарты

деленные преимущества по показателям экологичности. Функция автоматической компенсации коэффициента мощности (PFC) сглаживает пики потребления электроэнергии, позволяет более эффективно использовать имеющуюся мощность, а также использовать более длинные сетевые кабели, обеспечивая увеличенный радиус действия устройства и большую гибкость работы сварщика. Конструкция TransSteel 2200 состоит из меньшего количества компонентов, чем в предыдущих моделях. Благодаря этому устройство стало легче, и, в частности, изготовлено с экономией природных ресурсов.

В дополнение к премии Plus X за лучший продукт система TransSteel 2200 получила награду Red Dot Award за дизайн устройства. По утверждению жюри, сварочная система отличается особой многофункциональностью и чрезвычайно компактными габаритами. Судьи также одобрили легкость использования TransSteel 2200. В 2018 году квалифицированное жюри Red Dot Award выбрало лучшие дизайны. Отбор длился несколько дней. В нем приняли участие 6300 продуктов производителей из 59 стран.

Fronius International — австрийское предприятие с главным офисом в Петтенбахе и отделениями в Вельсе, Тальхайме, Штайнхаусе и Заттледте. Предприятие специализируется на системах для зарядки батарей, сварочном оборудовании и солнечной электронике. Всего штат компании насчитывает 4550 сотрудников. Доля экспорта составляет 91 %, что достигается благодаря 30 дочерним компаниям, а также международным партнерам по сбыту и представителям Fronius более чем в 60 странах. Благодаря первоклассным товарам и услугам, а также 1242 действующим патентам, Fronius является лидером в этой области технологий на мировом рынке.



ООО «ФРОНИУС УКРАИНА»
07455, Киевская обл., Броварской р-н,
с. Княжичи, ул. Славы, 24
Тел.: +38 044 277-21-41; факс: +38 044 277-21-44
E-mail: sales.ukraine@fronius.com
www.fronius.ua

характеризуется высокой эргономичностью. Для максимально простой транспортировки и передвижения сварочная система оборудована ручкой, дополнительным ремнем для переноски и накладками на боковых поверхностях. Идеальные сварные швы можно выполнять тремя простыми действиями. В этом источнике питания есть функция, которая на основании выбранного параметра сетевого плавкого предохранителя позволяет выполнять сварочные операции максимально долго. Это достигается за счет плавной автоматической регулировки сварочного тока. При этом устройство обеспечивает неизменно высокое качество сварки. Система Fronius также имеет опре-

Пути развития современного промышленного предприятия

На одной из крупнейших в мире выставке промышленных технологий Hannover Messe в этом году было объявлено о совмещении мероприятий, касающихся развития IT и промышленности. Отныне эти две отрасли стали нераздельными в концепции Industry 4.0. — сегодня современный завод уже выглядит как цифровая экосистема. Нет больше разделения на автоматизацию оборудования и автоматизацию бизнес-процессов. Новые технологии машинного обучения, анализа и прогнозирования, интернет вещей IoT (Internet of Things) и промышленный интернет вещей IIoT (Industrial Internet of Things) позволяют создать единое киберфизическое цифровое пространство.

Говоря о желании синхронизировать Украину с мировыми тенденциями, стоит отметить, что впервые за 10 лет на этой выставке в павильонах Hi-Tech были представлены и украинские стенды, где можно было увидеть готовые решения для цифровых экосистем. Было бы правильнее, если бы в следующем году Украина профинансировала общий стенд для украинских компаний, что позволило бы показать уровень цифровой интеграции бизнес-процессов в стране. Такая практика у нас существует на уровне создания и поддержки некоторых институций: Украинский культурный фонд призван поддерживать развитие национальной культуры и искусства в стране, Украинский институт, Институт книги, являются долговременными и достаточно затратными проектами, рассчитанными на длительное укоренение. Заметны общие стенды на крупнейших книжных ярмарках во Франкфурте и Вене, есть национальный павильон на Венецианской биеннале. В целом виден стратегический прицел и развитие на перспективу.

Направления «традиции и культура» и «IT и промышленность» равноправны по значимости и можно представить, какой глубокий и весомый результат мы получим, если развивать их одновременно — духовное развитие в масштабах нации и новая технологическая реальность. Мировая практика показывает, какое огромное значение придают развитию технологичности в мире: Китай вкладывает колоссальные средства, финансируя бесчисленные программы по привлечению зарубежных экспертов и ученых, при этом Китай работает на себя, в закрытом режиме. Евросоюз (а это 28 стран), создал общую площадку для взаимодействия, этим повышает глобальную конкурентоспособность и делает европейскую экономику динамичной. Одна только программа Горизонт 2020 имеет бюджет около 80 млрд евро.

В Украине нет условий для поддержания инноваций: мизерное финансирование науки, отсутствие механизма защиты интеллектуальной собственности, неразвита инфраструктура для исследований и внедрения инноваций. За всю историю независимой Украины на развитие науки максимальные отчисления составили не более 0,4 % ВВП, при этом вклад промышленности мизерный. В стране олигархическая экономика, не предполагающая конкуренции в промышленности, поэтому сегодня 95 % всех предприятий находятся на 3-4 технологическом уровне, тогда как Европа уже перешла на 6-7 уровень.

Еще раз стоит сделать акцент на равноправии внутреннего и внешнего развития современного человека, иначе неизбежна стагнация в мышлении и отсутствие динамики. Промышленный сектор как часть единого целого Украины может и должен быть представлен в масштабах мировой цепочки производства продукта, касается ли это создания новых технологий в области сварки или же IT-решений в области предиктивного технического обслуживания оборудования.

Готовность Украины для взаимодействия и коммуникации



Новые проекты



Изделия, выращенные с использованием аддитивных технологий



Рабочие моменты «Триада-Сварка» и ЗНТУ

с миром просто необходима, значительный рост ВВП возможен только в случае цифровой трансформации и, если мы имеем серьезные амбиции развить цифровое технологичное производство, необходимо ускорить объединение IT и промышленности.

Компания «Триада-Сварка» как интегратор промышленных процессов в производство понимает это и стремится к максимальному единению со смежными отраслями. Предприятие занимает активную позицию в вопросах развития технологичности и вкладывает средства в свое развитие как участника промышленного сектора Украины.

Год назад «Триада-Сварка» приняла активное участие в работе научно-практической конференции «Сварка 2018: наука, образование, производство и бизнес», проведенной в рамках Промышленного форума в Запорожье, речь шла о единении представителей науки, производства, бизнеса и образования для эффективного взаимодействия друг с другом. Сегодня уже созданы обучающие программы для студентов технических вузов, колледжей, ВПУ, на базе техцентра «Триада-Сварка» проводятся семинары и лабораторные работы. Ведутся разработки и исследования в области сварки в развитии аддитивных технологий. Появился совместный проект «Триада-Сварка» с НУ «Запорожская Политехника» по созданию и внедрению новой обучающей технологии VR/AR (виртуальной и дополненной реальности). Проект может объединить кафедры электропривода, информационных технологий и сварки, где каждая будет изучать свой вопрос. В итоге можно будет, одев маску, погрузиться в виртуальную среду, где можно осуществлять процессы сварки с помощью робота. Над созданием программы работали студенты в течение года на базе лаборатории киберфизических систем бизнес-инкубатора университета. В рамках выставки Международный промышленный форум 2019 в Запорожье на стенде «Триада-Сварка» будут одновременно работать специалисты «Триада-Сварка» и студенты НУ «Запорожская Политехника», показывая реальный роботизированный комплекс и такой же виртуальный.

Сегодня технические вузы переживают глубокое стратегическое переосмысление самой системы подготовки студентов, зная, что производство будущего хочет получить специалистов, понимающих, как функционируют роботы, как ими управлять. Это серьезная работа. Смещается фокус в мышлении студентов, в их способности генерировать инновации, применяя навыки и знания в глобальном масштабе, когда важны кооперация с внешними партнерами, взаимодействие всех со всеми: технологий, машин и людей. Ведь другие модели в условиях 4.0 уже не работают.

Центр R&D, созданный на основе технической базы «Триада-Сварка», будет и в дальнейшем работать для исследования и развития новых технологий. Также будет развиваться общая программа обучения и взаимодействия предприятия «Триада-Сварка» и университета, такая совместная работа способствует повышению конкурентоспособности выпускников — будущих инженеров и научных разработок, и служит прекрасным примером тесного взаимодействия индустрии, образования и науки.

С начала года предприятие «Триада-Сварка» ведет несколько проектов по роботизации, в том числе и экспортные.

Миссия компании «Триада-Сварка»: «Мы делаем мир технологичней, создавая умные производства».

Красносельская Е.Г.



Украина, г. Запорожье
 +38(067) 333-10-58,
 +38(050) 322-95-53
 www: triada-welding.com