

ЕВОЛЮЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ЗВАРЮВАННЯ. КОБОТИ АОТАІ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ ЗМІНЮЮТЬ ВИРОБНИЦТВО*

У статті розглядається перехід від традиційного роботизованого програмування до інтелектуальних систем, здатних самостійно розпізнавати зварні шви та планувати траєкторії. Особлива увага приділяється колаборативним роботам (коботам) АОТАІ другого покоління. Проаналізовано їхні ексклюзивні технологічні переваги, включаючи базову комплектацію джойстиком і передове програмне забезпечення, а також вплив цих інновацій на рентабельність, швидкість виробництва та захист здоров'я зварників.

Від сліпого повторення до усвідомленого зору. Історично склалося так, що зварювальні роботи сприймалися виключно як механізми для точного повторення заздалегідь заданих траєкторій. Оператор із пульта навчання змушений був вести робота від точки до точки, і лише після повного програмування шляху система могла розпочати роботу. Цей підхід чудово зарекомендував себе на лініях масового стандартизованого виробництва, однак в умовах дрібних серій, широкого асортименту та великих допусків на заготовки метод навчання забирав надто багато часу. Сьогодні індустрія переживає тиху революцію. Роботи перестають бути просто «машинами для відтворення»: завдяки лазерним датчикам, 3D-камерам і складним алгоритмам вони почали активно «бачити» заготовку, «розпізнавати» шов і самостійно «обчислювати» траєкторію руху.

Тріумф другого покоління: ідеальний кобот АОТАІ. Якщо промислові роботи цінуються за стабільність і потужність, то коботи створені бути легкими, швидкими та маневреними. Інтелектуальні коботи АОТАІ зазвичай об'єднують маніпулятор, джерело зварювального струму та контролер у єдиний мобільний візок, який можна швидко перемістити до потрібного робочого місця. Однак саме друге покоління коботів АОТАІ встановлює новий стандарт на ринку, пропонуючи рішення, недоступні в базових комплектаціях більшості конкурентів:

– *джойстик у базовій комплектації*; на відміну від інших виробників, що вимагають купівлі високоякісних опцій для ручного позиціонування, АОТАІ відразу оснащує свої коботи ергономічним джойстиком; це перетворює процес ручного доведення пальника на інтуїтивно зрозумілу дію, що не вимагає від зварника навичок ІТ-фахівця;

– *передове програмне забезпечення*: система управління забезпечує миттєвий відгук, оператору надається бездротовий планшет зі спеціально розробленим для зварювання інтерфейсом; налаштування траєкторій виконується шляхом перетягування, вибору точок і попереднього перегляду шляху, що позбавляє необхідності стояти біля ста-

ціонарного пульта;

– *потужний контролер*: центральний контролер кобота миттєво обробляє дані хмари точок, розпізнає шви та планує багатопрхідні й багатопрохідні траєкторії.

Ці переваги безпосередньо конвертуються у фінансову вигоду. Швидкість впровадження нового виробу у виробництво скорочується з кількох годин до хвилин. Мінімізація часу простою, різке зниження відсотка браку через похибки складання та відсутність необхідності наймати високооплачуваних програмістів-робототехніків забезпечують стрімке повернення інвестицій.

Технологія Teach-free – зварювання без CAD-креслень. Найбільшою проблемою гнучкого виробництва є програмування деталей, на які немає точних 3D-моделей. Технологія програмування без навчання (Teach-free) вирішує це завдання за допомогою 3D-моделювання. Кобот використовує ширококутну 3D-камеру, яка за допомогою лінійного сканування збирає дані у вигляді хмари точок із поверхні деталі. На основі цих даних система реконструює тривимірну модель заготовки. Це усуває необхідність завантаження попередньо підготовленого CAD-креслення. За одне сканування система не тільки створює модель, а й виконує первинне позиціонування деталі. Весь процес зводиться до чотирьох кроків: деталь поміщається на стіл; камера сканує її та створює модель; система планує траєкторію зварювання та підбирає параметри; починається зварювання з точним відстеженням дуги в реальному часі для корегування відхилень. Система успішно справляється з великими коробчастими конструкціями, енергетичним обладнанням, компонентами суден і деталями мостів.

Люди важливіші за машини: роботи не замінюють зварників. Головний страх автоматизації про втрату робочих місць на практиці виявився міфом. Суть впровадження коботів полягає не у звільненні зварників, а в компенсації гострої структурної нестачі кваліфікованих кадрів. Професія зварника вимагає тривалого навчання, і все менше молодих людей готові йти в цю сферу. Коботи АОТАІ позиціонуються як «зварювальні асистенти». Вони

*Стаття на правах реклами

беруть на себе рутинні, стандартизовані завдання з високою повторюваністю. Це безпосередньо захищає здоров'я людей. Роки роботи на передовій лінії зварювання руйнують організм: випромінювання дуги, токсичний дим, високі температури та шум значно скорочують ефективний термін роботи зварника. Передаючи монотонну роботу коботу другого покоління, досвідчений зварник відкладає пальник і бере в руки планшет. Він переходить на ціннішу та безпечнішу позицію: налаштування процесів, контроль якості та оптимізацію параметрів. Конкуренція на ринку зміщується від «фізичної витривалості» до «стабільності якості й точного управління процесами».

Коли роботи вчать «бачити» шов. Наступний етап інтелектуального зварювання. Зварюємо розумніше разом. У свідомості багатьох людей зварювальні роботи все ще застрягли на стадії «механічного повторення заданого шляху» – робітник тримає пульт навчання та веде робота точка за точкою вздовж траскторії, і тільки після того, як весь шлях буде задано, робот може почати працювати. Цей підхід усе ще добре працює на великосерійних стандартизованих виробничих лініях, але як тільки ви переходите до сценаріїв із невеликими партіями, великою кількістю варіантів виробів і значними допусками на вхідні матеріали, ефективність і адаптивність програмування «навчання-відтворення» швидко стикаються з проблемами. Протягом останніх кількох років у всій галузі відбувалися тихі зміни. Роботи більше не є просто «машинами для відтворення». За допомогою лазерних датчиків, 3D-камер та алгоритмів вони почали активно «бачити» заготовку, «розпізнавати» зварний шов і самостійно «обчислювати» шлях. Від промислових роботів до коботів, від стаціонарних виробничих ліній до гнучких комірок – автоматизація зварювання переходить від «навчання» до «самостійного пошуку шляху».

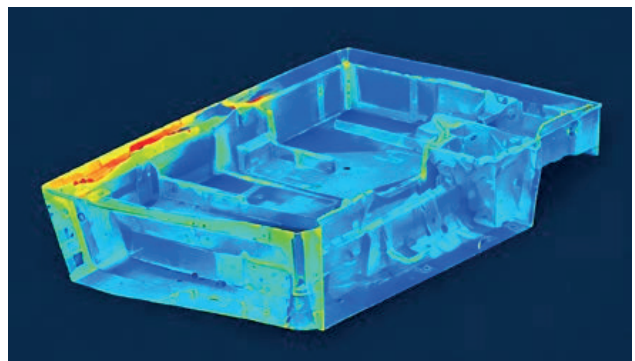
Промислові роботи: від «навчання-відтворення» до програмування без навчання. Базова логіка

традиційної системи промислового зварювального робота проста: рука робота, шафа управління, джерело зварювального струму, механізм подачі дроту, спеціальний зварювальний пальник і датчики зіткнення в поєднанні з периферійним обладнанням, таким як позиціонери і напрямні, разом утворюють повноцінну робочу станцію. Перевага такої системи полягає в її стабільності, високій точності та широкому діапазоні навантажень – від невеликих позиціонерів на 0,5 тонни до 50-тонних позиціонерів із передньою й задньою бабками, від фіксованих наземних напрямних до порталних напрямних, вона може охопити заготовки майже будь-якого розміру та форми. Але недоліки цієї системи такі ж очевидні: програмування складне, зміна продукту вимагає перенавчання робота з нуля, а коли вхідні деталі мають значні допуски на розміри або збирання, якість зварювання стає важко гарантувати. У результаті один за одним були запроваджені два технічні підходи: «параметричне програмування» та «програмування без навчання». Параметричне програмування, простіше кажучи, перетворює програму зварювання на те, що ви заповнюєте, як форму. Оператору потрібно лише ввести ключові розміри заготовки, такі як: товщина листа, довжина шва й кількість швів – і система автоматично згенерує відповідну програму зварювання робота без необхідності покрокового навчання. Цей підхід особливо добре підходить для виробів, структура яких є відносно фіксованою, але розміри яких часто змінюються, наприклад, бічні, задні панелі та панелі підлоги самоскидів. Звичайний робітник, знайомий з таблицею параметрів, може взяти на себе роботу з програмування, яка раніше вимагала кваліфікованого зварника, значно зменшуючи залежність від спеціалізованої людської праці. Програмування без навчання йде ще далі: воно спирається на візуальне сприйняття, тому робот може «сам зрозуміти», що і де потрібно зварювати.

Є два основні технічні підходи. Перший – програмування за допомогою CAD-моделі. Другий



3D-сканування – реконструкція хмари точок



Модель хмари точок

– зворотне 3D-моделювання – шлях, який має більшу перевагу в сценаріях, де спочатку немає CAD-моделі або вхідний матеріал має неправильну форму зі значними допусками на складання – і це також більш проривна частина технології без навчання. Спираючись на підхід, керований моделлю, він додає 3D-камеру з широким полем зору, яка збирає дані хмари точок із поверхні заготовки за допомогою лінійного сканування. На основі цих даних хмари точок система зворотно реконструює тривимірну модель заготовки, замість того, щоб покладатися на попередньо підготовлене CAD-креслення, як це робить підхід, керований моделлю. Що ще важливіше, одне сканування фактично виконує дві речі одночасно: воно генерує хмару точок і реконструює 3D-форму заготовки, одночасно завершуючи початкове позиціонування заготовки – немає потреби проходити окремий етап позиціонування після цього.

Автоматичне планування та виконання зварювання. Отримавши модель хмари точок, система використовує її для планування як шляху зварювання, так і шляху точного позиціонування, та автоматично підбирає відповідні параметри зварювального процесу. Коли починається фактичне зварювання, система спочатку виконує крок точного позиціонування, щоб додатково підтвердити точне розташування зварного шва, а під час зварювання відстеження дуги в реальному часі корегує відхилення, щоб забезпечити постійну якість шва. Весь процес можна звести до чотирьох кроків: компонент розміщується на робочому столі; ширококутна камера лінійного сканування завершує зворотне моделювання та початкове позиціонування; система планує шляхи зварювання й точного позиціонування та завершує підбір процесу; і нарешті, починається зварювання.

Від «побудови моделі» до «сканування та розуміння». Порівняно з підходом «спочатку побудуйте модель, потім зіставте її з реальністю», цей метод «спочатку відскануйте реальність, потім створіть модель» по суті переносить крок моделювання з етапу проєктування виробу на сам виробничий майданчик. Він особливо дружній до вхідних матеріалів без креслень, деталей неправильної форми та компонентів із великими допусками на складання: немає необхідності будувати модель заздалегідь – робот сканує деталь один раз і може «розпізнати», як вона виглядає, а потім автономно планує послідовність і шлях зварювання. Для багатьох переробних заводів, які стикаються зі складними формами вхідних матеріалів, але не мають повних креслень, це фактично усуває пере-



Адаптація до заготовок неправильної форми

думову «чи будувати повну CAD-модель для робота». Робот сам може завершити замкнений цикл від «бачення» до «розуміння» і до «виконання», що є саме тим, що відрізняє його від підходу, керованого суто моделлю, і виводить за його межі.

Технологія без навчання вирішує давні проблеми. Те, що дійсно вирішує технологія без навчання, – це давня суперечність у галузі: чим менша партія й більша різноманітність виробів, тим частіше потрібно корегувати програму, а часте корегування програми – це саме те, чого найбільше боїться автоматизація. Щойно робот може сам «прочитати креслення» і «розпізнати заготовку», етап програмування різко скорочується такою мірою, що завантаження заготовки, її сканування та зварювання можуть відбуватися в одному безперервному потоці. Конфігурація зовнішніх осей також забезпечує підтримку такого гнучкого виробництва. Будь то шестиосьова фіксована база, семиосьова наземна напрямна, семиосьова консоль або дев'ятиосьові консольні конфігурації у компонованнях YXZ або YZX, у парі з одно- або двоохсьовими позиціонерами, робочий радіус робота та ступені свободи положення можна узгодити з вимогами за потребою. Це дозволяє одній і тій самій логіці управління адаптуватися до компонентів, починаючи від великих діафрагм мостів і масляних баків трансформаторів і закінчуючи невеликими основами трубних решіток і деталями для з'єднання жолобів. У практичному застосуванні ця система без навчання вже застосовується в низці спеціалізованих областей: основи обладнання, опорні плити прогонів, консолі, переборки суден, куточки ніжок веж для сталевих веж, сталеві конструкційні компоненти для будівництва, коробчасті колони, гофровані плити та багато іншого. Більшість із цих заготовок мають спільну рису – вони схожі за формою, але відрізняються розмірами та деталями – саме тут технологія без

 Сталеві конструкції	 Енергетичне обладнання	 Атомна енергетика	 Компоненти суден	 Діафрагми мостів	 Масляні баки трансформаторів	 Гофровані плити	 Деталі для з'єднання жолобів
---	--	---	--	--	---	---	--

навчання може принести найбільшу користь.

Колаборативні роботи. Легкі та гнучкі рішення для зварювання. Якщо цінність промислових роботів полягає в тому, щоб бути «стабільними, точними та потужними», то роботи прагнуть бути «легкими, швидкими та спритними». Інтелектуальні системи колаборативних зварювальних роботів зазвичай використовують високоінтегрований дизайн, поєднуючи руку робота, джерело зварювального струму та контролер в єдину рухома базу у вигляді візка – компактну за розміром і з керованою вагою, щоб її можна було швидко розгорнути й гнучко переміщати на виробничій лінії або навіть підкотити прямо до тієї станції, де потрібне зварювання. Продукти цієї категорії зазвичай поділяються на кілька рівнів: моделі початкового рівня роблять акцент на простоті використання та економічній ефективності, вони підходять для дрібносерійних багатоваріантних сценаріїв, спрямованих на підвищення ефективності ручного зварювання, з базовим налаштуванням шляху за допомогою перетягування-навчання або простого кнопкового пульта; моделі середнього та високого класу зосереджені на роботі без навчання та високій ефективності, орієнтовані на стандартизоване великосерійне виробництво та підтримують гнучкий вибір брендів роботів, а також периферійне обладнання «підключи та працюй».

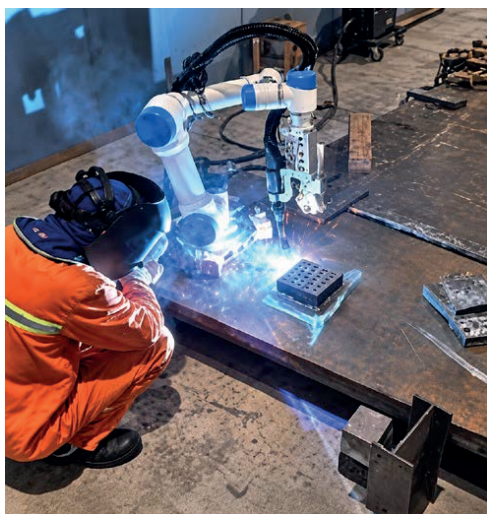
Основним «мозком» системи колаборативної робота є високопродуктивний зварювальний

контролер, який відповідає за обробку даних хмари точок, розпізнавання зварного шва, планування багатопрхідної/багатошарової траєкторії та положення, а також за комунікацію та координацію в реальному часі між роботом, зварювальним апаратом і датчиками. На стороні оператора надається бездротовий планшет з інтерфейсом, розробленим спеціально для зварювальних сценаріїв – робочий процес настільки зрозумілий, що навіть новачок зможе швидко його опанувати. Шляхи зварювання, положення заготовки та системи координат можуть інтуїтивно відображатися на екрані, а навчання здійснюється шляхом перетягування, вибору точок і попереднього перегляду шляху, звільняючи процес від залежності від стаціонарної консолі управління. Це дозволяє здійснювати як точне навчання зблизька, так і віддалений моніторинг стану виробництва.

Що стосується сприйняття, колаборативні роботи також пропонують дві конфігурації датчиків – лінійні лазерні датчики та 3D-камери, які можна гнучко обирати залежно від складності зварного шва та ступеня допуску на складання. Лінійні лазерні датчики відмінно підходять для точного відстеження зварного шва, здатні фіксувати відхилення зазору всього в кілька десятків часток міліметра; 3D-камери краще підходять для складних зварних швів і сценаріїв з більшими допусками на складання, глибоко інтегруючи планування траєкторії з керуванням у реальному часі.



Легкі та компактні • Гнучке розгортання • Прості у використанні • Економічно ефективні



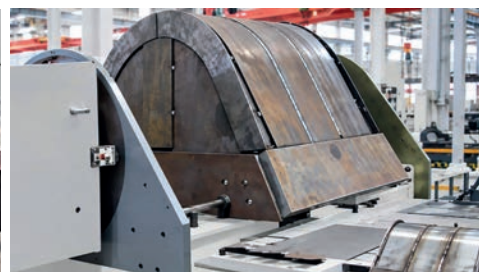
Дивлячись на сценарії, які вже розгорнуто, колаборативні роботи продемонстрували стабільну роботу з великими коробчастими конструкціями, енергетичним обладнанням, обладнанням для атомної енергетики, компонентами суден і металургійним обладнанням. Вони здатні виконувати плоске кутове зварювання, зварювання знизу-вгору, плоске стикове зварювання, горизонтальне стикове зварювання, вертикальне кутове зварювання, багат шарове/багатопрорізне зварювання, зварювання в стельовому положенні та інші процеси. Деякі застосування були затверджені відповідно до вимог атомної промисловості та стандартів, пов'язаних із ASME. Для спеціальних матеріалів, таких як: нержавка сталь, високоміцна сталь, металопокрошковий дріт та порошковий дріт, система також накопичила відповідну базу даних зварювального досвіду.

Від самоскидів до веж вітрогенераторів. Цінність систем зварювальних роботів, зрештою, має бути доведена в конкретних галузях. Судячи з поточних застосувань, охоплення вже є досить широким і сягає майже кожного куточка виробництва, пов'язаного зі зварюванням конструкційних компонентів із середніх і товстих листів. У секторі спеціалізованих транспортних засобів зварювання передньої, бічної, задньої панелей та панелей підлоги самоскидів є типовим сценарієм. Системи параметричного програмування ефективно вирішили давню проблему галузі – «дрібні партії, багато варіантів, складне програмування». Допу-

стиме відхилення може досягати більше 20 мм, а деформація після зварювання може переходити безпосередньо на стадію складання без додаткового калібрування. З економічної точки зору, інвестиції в обладнання зазвичай можуть окупитися приблизно за три роки, залежно від умов застосування. Тим часом, лінія з виробництва шасі для автобетонозмішувачів координує кілька станцій – попередню обробку сировини, ручне складання, зварювання, а також зварювання з перевертанням і ремонтне зварювання – щоб побудувати комплексну гнучку лінію, що дозволяє безперервне виробництво від сировини до готової продукції.

У будівельній техніці стріли та рукояті екскаваторів є типовим випадком великих, складних вигнутих зварних швів, що вимагають пошуку шва під високим тиском у поєднанні з відстеженням дуги, щоб знизити вимоги до точності різання та припасування, поряд з багат шаровим/багатопрорізним зварюванням, базою даних експертних параметрів та функціями моніторингу аномалій. Процес зварювання стріли для колісних навантажувачів спирається на експертну базу даних специфікацій зварювання для автоматичного регулювання параметрів зварювання для швів із більшими зазорами, що забезпечує стабільний такт виробництва й робить планування виробництва більш передбачуваним.

У секторі сталевих конструкцій такі компоненти як: коробчасті колони, колони з круглих труб, Н-по-





дібні балки, хрестоподібні колони та двотаврові балки, представлені в багатьох різновидах і формах, із позиціями та кутами зварювання, що відрізняються від деталі до деталі, що робить це саме тим головним полем битви, де програмування без навчання та параметричне програмування доводять свою цінність. Традиційному ручному зварюванню важко збалансувати ефективність і стабільність при роботі з такими різноманітними, нестандартизованими компонентами, тоді як роботизовані системи, з їхніми гнучкими конфігураціями зовнішніх осей та можливостями сприйняття, можуть адаптуватися до цієї різноманітності набагато ефективніше.

Крім цього, зварювальна освіта та навчання, великі коробчасті конструкції, енергетичне обладнання, обладнання для атомної енергетики, компоненти суден, металургійне обладнання, діафрагми мостів, масляні баки трансформаторів, гофровані плити та деталі для з'єднання жолобів – усе це є сценаріями, де колаборативні роботи та промислові роботи можуть працювати пліч-о-пліч. Більшість із цих сценаріїв мають спільну рису: великі розміри заготовок; складну геометрію зварного шва; розміри партій, які не є особливо великими, але мають жорсткі вимоги до якості – саме ті умови, за яких програмування без навчання та параметричне програмування демонструють свою найбільшу цінність.

Піклування про зварників. Роботи тут не для того, щоб замінити зварників. Говорячи про автоматизацію зварювання, легко впасти в оману – приходять роботи, тож зварники скоро втратять роботу? Але якщо подивитися на те, як це відбувається насправді, практичне застосування показує іншу тенденцію: головною проблемою, яку вирішує такого роду система, ніколи не було «замінити всіх зварників роботами», а скоріше «використати роботів, щоб компенсувати структурну нестачу кваліфікованих зварників». Професія зварника вже давно стикається з незручною реальністю: потрібно багато часу та високий поріг, щоб підготувати

когось, хто дійсно зможе самостійно справлятися з роботою, тоді як все менше й менше молодих людей бажають йти в цю сферу. Найняти працівників важко, а утримати їх ще важче – це головний біль, спільний майже для кожного виробничого цеху. Чого дійсно досягають технології програмування без навчання та параметричного програмування, так це того, що звичайний працівник може керувати роботом для виконання завдань із програмування та завантаження матеріалів, які раніше вимагали професійного зварника, звільняючи дефіцитних кваліфікованих зварників від повторюваної, виснажливої фронтальної зварювальної роботи. Колаборативні роботи зовсім не йдуть шляхом «заміни зварників» – натомість вони позиціонують себе як «помічника зварника». Їх виводять на лінію, щоб вони перебрали на себе стандартизовані, сильно повторювані зварювальні завдання від зварників, дозволяючи зварникам відійти від тримання пальника й терпіння світіння дуги та диму, і натомість перейти до ціннішої роботи: тонкого налаштування параметрів зварювального процесу, оптимізації схем зварювання для різних матеріалів і структур, а також перетворення десятиліть накопиченого відчуття й судження в досвід і стандарти, які можна використовувати багаторазово.

Тут є ще практичніше питання – охорона праці. Стояння на передовій лінії зварювання роками бере своє від організму – світіння дуги, дим, високі температури та шум скорочують ефективний





термін роботи зварника. Після того, як колаборативні та промислові роботи беруть на себе цю повторювану, високоінтенсивну зварювальну роботу з високим ступенем впливу шкідливих факторів, кваліфіковані зварники можуть перейти до менш фізично важких ролей, таких як розробка процесу, контроль якості та пусконаладження обладнання, подовжуючи свою кар'єру при одночасному зниженні частоти професійних захворювань. З цього кута зору те, що зварювальні роботи насправді стимулюють – це зсув для всієї зварювальної галузі від конкуренції у «фізичній витривалості та практичному досвіді» до конкуренції у «точному контролі процесу та стабільності якості». Роботи виконують стабільне, повторюване, високоінтенсивне виконання, тоді як люди беруть на себе судження, оптимізацію та інновації. Чим чіткішим стає цей розподіл праці, тим надійнішим є результат і тим вищим є загальний технічний рівень у галузях застосування – будь то спеціалізовані транспортні засоби, будівельна техніка, будівництво або сталеві конструкції.

Висновки. Робототехніка надає зварюванню ефективніше і безпечніше майбутнє. Від навчан-

ня-відтворення до програмування без навчання, від стаціонарних виробничих ліній до гнучких комірок, від промислових роботів до колаборативних роботів – розвиток автоматизації зварювання в останні роки був зосереджений на зниженні «бар'єру для використання» при одночасному підвищенні «адаптивності». Роботи більше не вимагають, щоб кожна заготовка була ідеально однаковою, так само як і не вимагають, щоб оператор був зварником-ветераном – вони почали активно адаптуватися до допусків, різноманітності та невизначеності реального виробництва. За цим стоїть як прогрес у датчиках та алгоритмах, так і нове розуміння професії зварника: роботи не для того, щоб забрати чийсь роботу – вони тут, щоб звільнити людей від фізично найважчих, найбільш повторюваних частин роботи, щоб можна було зберегти досвід і продовжити кар'єру. Коли як «розуміння зварного шва», так і «стабільне зварювання» можна передати роботом, сценарії з невеликими партіями, великою різноманітністю та проблемами з персоналом, які довгий час були головним боєм для виробництва, можуть нарешті знайти свою власну відповідь.

За матеріалами ТОВ «ВТЦ»