

## СУЧАСНІ СЕНСОРНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЗВАРЮВАЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Зварювання є одним з ключових технологічних процесів у багатьох галузях промисловості, включаючи машинобудування, будівництво, аерокосмічну та автомобільну індустрію. Забезпечення високої якості зварних з'єднань є критично важливим для надійності та довговічності кінцевої продукції. В умовах зростаючих вимог до продуктивності та точності, все більшого значення набуває використання передових сенсорних технологій у зварювальному виробництві. Датчики відіграють ключову роль у моніторингу, контролі та оптимізації зварювальних процесів, сприяючи підвищенню рівня автоматизації, зниженню кількості дефектів та покращенню загальної ефективності виробництва.

Сучасні датчики, що застосовуються у зварюванні, відрізняються різноманітністю принципів дії та функціональних можливостей. Їх можна класифікувати за різними критеріями, зокрема за принципом перетворення вимірюваної величини в електричний сигнал та за їхнім призначенням у зварювальному процесі.

**Датчики за принципом дії:** *візуальні датчики* (ґрунтуються на обробці зображень, отриманих за допомогою камер. Застосовуються для відстеження геометрії шва, визначення положення заготовки та виявлення поверхневих дефектів. Розвиток алгоритмів машинного зору значно розширює можливості цих датчиків); *лазерні датчики* (використовують властивості лазерного випромінювання для точного вимірювання відстані та профілю поверхні. Застосовуються для високоточного відстеження шва та контролю геометричних параметрів зварного з'єднання); *тактильні датчики* (включають контактні механічні датчики та технологію відстеження шва через дугу), яка використовує зміни зварювального струму для визначення положення шва); *ультразвукові датчики* (застосовують ультразвукові хвилі для неруйнівного контролю якості зварних з'єднань та моніторингу параметрів зварювальної ванни, особливо при зварюванні полімерних матеріалів); *інфрачервоні датчики* (здійснюють безконтактний контроль температури зварювальної ванни шляхом вимірювання інфрачервоного випромінювання, що є важливим для забезпечення оптимальних умов кристалізації металу); *датчики сили/моменту* (вимірюють механічні зусилля, що діють на зварювальний інструмент, дозволяючи контролювати контактний тиск та інші технологічні параметри); *індуктивні датчики* (використовуються для безконтактного виявлення металевих об'єктів, забезпечуючи позиціонування та контроль присутності заготовок); *фотоелектричні датчики* (застосовуються для різних завдань, включаючи виявлення об'єктів та

контроль оптичних характеристик зварювального процесу); *датчики струму та напруги* (здійснюють моніторинг електричних параметрів зварювальної дуги, що є ключовим для стабільності процесу та якості зварювання); *датчики витрати газу* (забезпечують точне дозування захисного газу, необхідного для запобігання окисленню та забезпечення якісного формування зварного шва).

**Датчики за призначенням:** *датчики розпізнавання шва* (визначають початкове та кінцеве положення зварювального шва, полегшуючи програмування роботизованих систем); *датчики відстеження шва* (забезпечують автоматичне корегування траєкторії руху зварювального пальника в реальному часі, компенсуючи неточності підготовки кромки та деформації в процесі зварювання); *датчики контролю зварювальної ванни* (надають інформацію про розміри, форму та температурний стан розплавленого металу, що дозволяє оптимізувати параметри зварювання); *датчики контролю якості зварювання* (виявляють дефекти, такі як пори, тріщини та неспроможності, на різних стадіях зварювального процесу); *датчики безпеки* (забезпечують безпечну роботу обладнання, запобігаючи зіткненням та іншим небезпечним ситуаціям).

Отже, впровадження сенсорних технологій у зварювальне виробництво відіграє ключову роль у підвищенні ефективності, якості та безпеки зварювальних процесів. Сучасні датчики забезпечують комплексний моніторинг та контроль на всіх етапах зварювання — від виявлення положення зварювального шва до аналізу параметрів зварювальної ванни й оцінки якості з'єднання. Завдяки широкому спектру принципів дії та функціонального призначення, датчики дозволяють гнучко адаптуватися до змін технологічного середовища та підвищити ступінь автоматизації виробництва.

Особливої ефективності можна досягти при інтеграції кількох типів сенсорів у єдину систему керування, що забезпечує адаптивне регулювання технологічних параметрів у режимі реального часу. Такий підхід сприяє зниженню кількості дефектів, оптимізації витрат ресурсів і підвищенню загальної стабільності процесу зварювання.

Таким чином, сенсорні системи є невід'ємною складовою сучасного зварювального виробництва, що відповідає вимогам цифрової трансформації промисловості та відкриває нові перспективи для розвитку інтелектуальних зварювальних технологій.