

УДК 621.307.13

## ТЕЛЕВІЗІЙНА ПІРОМЕТРІЯ – НОВИЙ НАПРЯМОК ТЕПЛОВОГО НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

© В.А. Порєв, 2003

Національний технічний університет України „КПІ”, м. Київ

*Проаналізовано можливості використання телевізійної пірометрії в різних галузях промисловості. Показано, що в тих технологічних процесах, де мають місце температури більше 1000°C, телевізійна пірометрія має значні перспективи щодо впровадження.*

Постійною домінантою в розвитку будь-якого виробництва незалежно від суспільної формації є поліпшення якості продукції, що передбачає наявність адекватних засобів контролю. Стан багатьох сучасних технологій визначається не в останню чергу науковим та технічним рівнем засобів контролю, певна частина яких базується на використанні оптичних методів.

Значною мірою це стосується оптичної пірометрії, оскільки температура є найважливішим параметром технологічних процесів в багатьох галузях промисловості. Актуальними для неруйнівного контролю завжди залишатимуться задачі створення ефективних методів та технічних засобів для безконтактного вимірювання температури. При цьому різноманітність об'єктів та умов контролю, вимог до діапазону температур, до точності вимірювань та достовірності контролю практично виключають можливість створення універсальної методології в рамках як традиційної (класичної), так і нетрадиційної пірометрії випромінювання.

У відповідності з традиційними методами, які безпосередньо впливають із законів Стефана-Больцмана і Планка, визначення температури провадиться вимірюванням потоку власного випромінювання в певному спектральному діапазоні або шляхом співставлення потоків в двох спектральних діапазонах.

Методи нетрадиційної пірометрії реалізуються спеціальними алгоритмами обробки сигналів з використанням, наприклад, поляризованого випромінювання, нормалізації випромінювальної здатності, одночасного вимірювання потоку більш ніж в двох спектральних діапазонах та нелінійними перетвореннями [1].

Розширення номенклатури та ріст питомої ваги високих технологій в сучасному технологічному суспільстві з одночасним підвищенням вимог до методології їх контролю стимулювало розвиток

методів, які базуються на формуванні та аналізі зображень і привело до виникнення і становлення телевізійної пірометрії, можливості якої важко переоцінити. Слід відзначити, що термінологія цього розділу пірометрії на сьогодні ще остаточно не склалася. Наприклад, в США частіше використовується термін "Imaging pyrometer" (зображуючий пірометр). Але, на наш погляд, термін "телевізійний пірометр" є більш вдалим, оскільки він містить всі суттєві ознаки і дозволяє дистанціюватися від пірометричних приладів з оптико-механічним розгортанням, в яких також формується зображення (image).

Телевізійна пірометрія охоплює область вимірювальної техніки, яка включає теорію і практику вимірювання високих температур засобами телевізійної системотехніки і є надзвичайно ефективним інструментом теплового контролю, але тільки в руках людей, які усвідомлюють її можливості. Зрозуміло, що телевізійні пірометри, які дозволяють реалізувати будь-який із методів традиційної чи нетрадиційної пірометрії з врахуванням обмежень щодо діапазону спектральної чутливості, не розглядаються як альтернатива існуючим пірометрам.

Телевізійна пірометрія має загальну з традиційною пірометриєю випромінювання теоретичну базу і в той же час завдяки особливостям формування сигналу дозволяє вирішувати сучасні наукові та технологічні задачі на якісно новому рівні.

По-перше, якщо для порівняння різних пірометричних приладів ввести показник  $N/\Delta\tau$ , де  $N$  — формат вибірки,  $\Delta$  — лінійний розмір пікселя,  $\tau$  — час формування вибірки (кадру), то виявиться, що серед усіх типів пірометрів найбільше значення цей показник матиме для телевізійного пірометра (ТП).

По-друге, в ТП в межах одного і того ж

світлоелектричного перетворювача може бути сформовано зображення об'єкту в різних спектральних діапазонах, тобто реалізовано мультиспектральний пірометр на єдиному перетворювачі. Аналогічно може бути сформовано зображення об'єкту і еталонного джерела, що має неабияке значення в метрологічному аспекті.

Відзначені особливості є настільки принциповими, що потребують перегляду усталених підходів до пірометрії випромінювання, починаючи від розширення кола задач і до нових вимог щодо забезпечення адекватності технічних засобів, що фактично означає створення методології нового напрямку пірометрії випромінювання — телевізійної пірометрії.

На сьогодні в технологічно розвинених країнах накопичено значний досвід застосування телевізійних приладів в промислових технологіях. Телевізійні пірометри можуть застосовуватись в чорній та кольоровій металургії, в прокатному виробництві, виробництві дроту, формуванні заготовок методом розливки, при вакуумному напиленні і електричному зварюванні, при дослідженні процесів локального нагріву та високотемпературного руйнування тощо.

Велика кількість практично важливих застосувань засобів пірометрії випромінювання пов'язана з різними металургійними виробництвами. Власне, своїй появі пірометрія зобов'язана саме потребам металургії. Температура рідких металів і сплавів — важливий технологічний параметр в металургійному та ливарному виробництвах. Температурний режим плавки визначає фізико-хімічні властивості металу, вміст неметалічних включень, газів, що має особливе значення при виробництві спеціальних сплавів. Відхилення температури плавки від оптимальної може суттєво вплинути на якість металу. Контроль температурного режиму плавки дозволяє зменшити брак, скоротити тривалість плавки, зменшити витрати енергоносіїв, подовжити термін експлуатації обладнання та зменшити ризик появи аварійних ситуацій.

Вибір технічного засобу для вимірювання температури обумовлюється вимогами щодо контролю даної ланки технологічного циклу. Якщо достатньо вимірювати температуру в одній точці, то задача може бути вирішена за допомогою термопари чи традиційного пірометра, а застосування порівняно складних і дорогих засобів з формуванням та аналізом зображень є недоцільним. Такою задачею в металургії є, наприклад, вимірювання температури струменя рідкого металу, що випускається з плавильної печі або розливається

з ковша безпосередньо у форму чи у накопичувач, який використовується перед розливкою в великі форми.

Дещо більшими видаються перспективи застосування ТП для контролю процесу розливу заготовок, ефективність та безаварійність якого безпосередньо залежить від вирішення проблеми контролю та регулювання температури. При цьому неперервний розлив заготовок значних розмірів при високих температурах ( $600^{\circ}\text{C} \dots 1400^{\circ}\text{C}$ ) потребує вимірювання температури в кількох зонах по периметру заготовки з розрізненням порядку одиниць міліметрів, що може бути реалізоване засобами телевізійної пірометрії.

В прокатному виробництві контроль температури з наступним регулюванням режимів роботи валків забезпечує задану товщину листа прокату. Контроль провадиться, як правило, перед прокатом і здійснюється за допомогою об'єктивних пірометрів. Така задача може бути покладена на ТП і при цьому виникає можливість більш детально аналізувати розподіл температури на поверхні листа прокату.

Повністю адекватними будуть засоби телевізійної пірометрії при виробництві дроту, де головною вимогою є дотримання заданого значення діаметру. Сьогодні контроль якості дроту провадиться вибірково, що не виключає можливого пропуску некондиційної продукції. Приймається, що необхідний температурний режим забезпечується підтриманням температури розплаву, що не виключає можливості його порушення саме на етапі формування дротини (на виході з філь'єри). Отже, в цьому випадку телевізійна пірометрія надає унікальні можливості щодо постійного і одночасного контролю двох важливих параметрів — температури дроту на виході з філь'єри та його діаметру.

Особливі вимоги до контролю температури пов'язані з потребами електронно-променевої та лазерних технологій.

Лазерна обробка матеріалів охоплює сукупність технологічних процесів термічної обробки поверхні, зварювання, різання, утворення отворів. Термічна обробка застосовується для зміцнення поверхні за рахунок локального швидкого нагріву з наступним охолодженням, що приводить до збільшення твердості поверхневої структури. Шляхом лазерного зміцнення можна в кілька разів підвищити зносостійкість інструментів та термін експлуатації важливих вузлів в хімічному машинобудуванні, нафтовидобувній промисловості, на автомобільному та залізничному транспорті, в літакобудуванні тощо. Визначальним фактором

перебігу процесів лазерної обробки матеріалів є температурне поле в зоні впливу лазерного випромінювання. Очевидно, що результат застосування будь-якого методу лазерної обробки матеріалів залежить від дотримання заданих параметрів теплового режиму — розподілу та динаміки температурного поля. Ця обставина вимагає як адекватних моделей розрахунку, так і досконалої методології контролю температурного поля в зоні впливу лазерного випромінювання.

Теоретичне моделювання процесів лазерної обробки матеріалів базується на диференціальних рівняннях теплопровідності, коректність розв'язку яких залежить від достовірності крайових умов, тобто значень температурного поля при заданих аргументах. Відомі методи задання крайових умов базуються на певних припущеннях або на емпіричних залежностях, встановлених для подібних задач [2]. Останні, в свою чергу, отримані для інтегральних характеристик температурного поля, без врахування його розподілу в зоні впливу лазерного випромінювання, отже є джерелом похибок, які складно оцінити.

Розвиток електронно-променевих технологій, з якими пов'язуються великі перспективи отримання матеріалів високої чистоти та з програмованими властивостями сьогодні певною мірою стримується також відсутністю експериментальних даних про розподіл температурного поля на поверхні зони нагріву.

В принципі, для потреб електронно-променевих та лазерних технологій можливе застосування приладів з оптико-механічним розгортанням чи навіть об'єктивних пірометрів, де як приймач використовується фоторезистор або фотодіод. Але якщо температурні поля мають складну форму, малі розміри, значні поверхневі градієнти і дуже динамічний характер, тобто потребують одночасного аналізу в багатьох точках, розташованих по довільній траєкторії, то ефективний контроль параметрів вказаних технологій можливий тільки за умови формування і аналізу зображення температурного поля в реальному масштабі часу і з високим просторовим розрізненням. Найбільш повно цим вимогам

відповідають телевізійні пірометри [3].

Світове лідерство в розвитку телевізійної пірометрії належить США, де цими питаннями займаються, зокрема, "Stratonics, Inc." ([www.stratonics.com](http://www.stratonics.com)), "MIKRON Instruments, Inc." ([www.mikroninst.com](http://www.mikroninst.com)), "Optical Insights, LLC" ([www.optical-insights.com](http://www.optical-insights.com)) та інші.

В Україні дослідження з проблем телевізійної пірометрії активно ведуться в Національному технічному університеті "Київський політехнічний інститут" в НДЛ телевізійних технологій контролю, яка на сьогодні в Україні займає провідні позиції в питаннях теорії та практики телевізійної пірометрії. За цей час окреслено коло теоретичних та практичних питань, що становлять базу телевізійної пірометрії [4]; сформована концепція використання телевізійних приладів для аналізу температурних полів [5]. Отримано також ряд важливих практичних результатів [6, 7], а в цілому зроблено висновок про те, що впровадження сучасних досягнень телевізійної та комп'ютерної техніки в практику досліджень оптичних полів, утворених власним випромінюванням, сприяє підвищенню якості продукції.

1. Свет Д.Я. *Оптические методы измерения истинных температур*. — М.: Наука, 1982. — 296 с.
2. *Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник* / Н.Н.Рыкалин, А. А. Углов, И.В.Зуев и др. — М. Машиностроение, 1985. — 496с.
3. Порев В.А. *Телевизионный пирометр // Приборы и техника эксперимента, 2002, №1.— С.150.*
4. Порев В.А. *Телевизионная пирометрия // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2002, № 4. — С.36.*
3. Порев Г.В., Порев В.А. *Концептуальні аспекти використання приладів з електронним розгортанням зображення для аналізу оптичних полів // Наукові вісті НТУУ "КШ". — 2001, №.1. — С.56.*
6. Порев В. А. *Контроль температурного поля зони плавки // Дефектоскопия. — 2001, № 5. — С.7.*
- Т.Порев Г.В., Кісіль Р.І. *Вимірювання геометричних розмірів обертової краплі за допомогою телевізійної системи контролю // Методи та прилади контролю якості. — 2000, № 5 —С. 87.*