УДК 621.791.93:536.521.2

СПОСІБ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЗА ВИПРОМІНЕННЯМ РОЗПЛАВУ МЕТАЛУ В ПРОЦЕСІ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЕРЕПЛАВЛЕННЯ

Г. Петриченко, директор,
ТОВ НВФ «Харків-Прилад»,
Н. Гоц, кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології, стандартизації та сертифікації,
Національний університет «Львівська політехніка»

Розглянуто особливості вимірювання температури розплаву металу в процесі електрошлакового переплавлення (ЕШП). Визначено недоліки контактного методу вимірювання температури із використанням термопари. Обгрунтовано доцільність використання термометрів випромінення для вимірювання температури розплаву, запропоновано конструкції зондів з вмонтованими приймачами випромінення. Математично описано особливості вимірювання температури за випроміненням у процесі ЕШП металу.

The article considers the particular of measuring temperature of melting metal in the process of electroslag remelting (ESR). The study identifies shortcomings of the contact method of measuring temperature using thermocouples. The authors substantiated the feasibility of using radiation thermometers to measuring temperature of the melt; they proposed construction of probes with built-in radiation detectors. The researchers mathematically described particular qualities of measuring temperature through radiation during the ESR process.

Г. Петриченко

Н. Гоц

Інтенсивний розвиток різних галузей авіаційної, ракетно-космічної, атомної техніки поставив перед металургами завдання виробництва сталей та сплавів з визначеними хімічними складами та властивостями, а також із заданими поєднаннями службових властивостей, наприклад, дуже високої міцності за одночасно високої пластичності й в'язкості. Також з кінця 70—80-х років XX століття гостро постала проблема дефіциту чистих металів, таких як W, Mo, Pt, Ni, Ti, Gr, V та їх сплавів. Отримання таких сталей, сплавів і чистих металів, яке стало можливим завдяки розвитку напряму металургії, розробленого в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона, — ЕШП.

© Петриченко Г., Гоц Н., 2011

ЕШП (литво, переплавлення) — електрометалургійний процес, за якого метал (витратний електрод) переплавляється у ванні електропровідного синтетичного шлаку під дією тепла, що виділяється у шлаку під час проходження через нього електричного струму. Електрошлаковий модифікований метал відрізняється від металу, отриманого відкритою плавкою, дрібнозернистою структурою, високою хімічною однорідністю, відсутністю чужорідних окисних включень, повітряних бульбашок, пор, раковин, тріщин, низьким вмістом шкідливих домішок сірки і фосфору, рівномірною щільністю металу за всім об'ємом, а, отже, й ізотропністю фізико-механічних властивостей за всіма напрямками.

Саме температурний режим процесу плавлення і визначає властивості металу, отриманого шляхом ЕШП. Тому вимірювання температури як шлаку, так і розплаву металу в процесі ЕШП є актуальним.

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ У ПРОЦЕСІ ЕШП

Розглянемо особливості процесу ЕШП, схематичне зображення якого представлено на рис. 1. Витратний електрод є відливкою, прокатним виробом або виробом з кованого металу, отриманими в мартенівській, дуговій, вакуумноіндукційній печах або кисневому конвертері. Як початкову сировину використовують цілісні витратні електроди або такі, що складаються із обрізків прокату, лому, відпрацьованих деталей тощо. Шлак складається із CaF_2, CaO, SiO_2, Al_2O_3, інших компонентів, а його температура може становити близько 2500°C та зазвичай на 150 — 200 °C вища за температури плавлення металу. Розплавлений метал, проходячи через шар (до 50 см) рідкого шлаку, інтенсивно рафінується від шкідливих домішок і неметалічних включень. Електрошлакове рафінування металу відбувається в плівці рідкого металу на кінці електрода, що оплавляється, під час проходження крапель металу через шлакову ванну і на поверхні розділу шлакової та металевої ванн (рис. 1).

Краплі рідкого електродного металу проходять через шар шлаку і утворюють під ним шар металу, із якого за послідовного твердіння у водоохолоджувальному кристалізаторі формується злиток. Змінюючи склад шлаку і температурний режим процесу, здійснюють вибіркове рафінування металу. У результаті того, що шар шлаку покриває розплавлений метал, тобто відсутній контакт металу з повітрям, вміст у металі сірки знижується в 2—5 разів, кисню і неметалічних включень — в 1,5 — 2,5 [1]. Електрошлаковий модифікований метал характеризується високою хімічною однорідністю та рівномірною щільністю металу за всім об'ємом, рівень механічних властивостей його відливок практично не відрізняється від властивостей кованої заготовки [2].

Методом ЕШП можна отримати злитки масою від десятків *грам* до 200 тонн практично будь-якої форми, яка визначається формою кристалізатора. ЕШП застосовується в чорній металургії (шарикопідшипникові, конструкційні, нержавіючі, інструментальні сталі, жароміцні сплави), кольоровій металургії (хромиста бронза, нікелемідні сплави), камінному литві, важкому машинобудуванні (теплостійкі, високоміцні штампові, валкові сталі), у процесі виробництва високотемпературної кераміки. Використання ЕШП дозволяє утилізувати металобрухт чорних і кольорових металів, що відповідно поліпшує екологічну обстановку. Таке виробництво відповідає вимогам санітарно-гігієнічних умов праці й гарантує збереження чистоти навколишнього середовища як на самих підприємствах, так і поблизу них. Експлуатація ЕШП є значно дешевшою і простішою, ніж сучасних індукційних печей.

На базі проведеного огляду ЕШП можна сформулювати особливості вимірювання температури розплаву металу:

- температура шлаку та розплавленого металу — до 3000°C;
- відсутність контакту розплавленого металу з повітрям внаслідок покриття металу шаром шлаку до 50 см;
- температура розплавленого металу є нижчою від температури шлаку на 150 ÷ 200°C;
- агресивне хімічне середовище шлаку;
- наявність потужного електромагнітного поля.

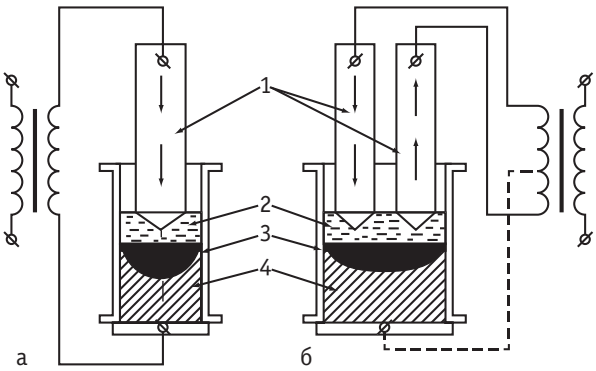

Рис. 1. Схема ЕШП з одним (а) і двома (б) електродами, що витрачаються (1 — витратний електрод; 2 — шар шлаку; 3 — металева ванна; 4 — розплавлений метал із заданими властивостями, із якого формується злиток)

АНАЛІЗУВАННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ЕШП

Для вимірювання температури розплаву металу широко використовується контактний метод вимірювання температури з використанням термоелектричного перетворювача, що кріпиться на зонд для занурення у розплавлений метал. Термопару захищають чохлом з кварцового скла, стійкого до термоудару. Після кожного вимірення чохол замінюють, оскільки кварцове скло сильно деформується за високої температури. Періодично замінюється й окислена ділянка термоелектродів поблизу робочого спаю термопари шляхом змотування дроту з котушок зонда. Зонд підключено до щитового вторинного приладу за допомогою компенсаційного кабелю.

У розплав металу крізь шар шлаку занурюється зонд, на якому кріпиться термоперетворювач (рис. 2). Зонд має довжину до 2500 мм, вигнутий під кутом 150°, довжина з'єднувального кабелю до електронного блока — 1000 мм. Задля запобігання внаслідок високих температур передчасному контакту термоперетворювача зі шлаком, який за високих температур є високохімічноактивним і може привести до руйнування термоперетворювача, останній розміщується в капсулі із кварцу і захищений ковпачком із легкого металу, що дуже швидко руйнується після занурення термоперетворювача у метал. У кварцовій трубці головки термоперетворювача міститься чутливий елемент (ЧЕ). У пакетах ПТПП використовується ЧЕ платина-платинородієвий, у пакетах ПТПР — платинородій-платинородієвий, у пакетах ПТВР — вольфрамреній-вольфрамренієвий [3]. Після занурення термоперетворювача у метал після руйнування захисного ковпачка відбувається контакт термоперетворювача з металом. Вихідний сигнал термоперетворювача є пропорційним до значення вимірюваної температури розплаву металу.

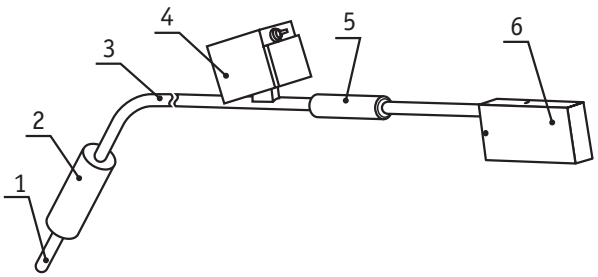

Рис. 2. Термозонд поплавкового типу (1 — захисний ковпачок термопари; 2 — поплавок; 3 — металевий шланг; 4 — пристрій візуалізації значення температури розплаву металу; 5 — ручка; 6 — коробка з котушками для запасного дроту)

Для роботи зонда можуть використовуватися як одноразові, так і багаторазові термопари. Одноразову термопару розміщують у паперовій гільзі в кварцовому балоні, що запобігає передчасному руйнуванню термопари і має тонкий захисний наконечник із металу, який розплавляється під дією високої температури, коли зонд пробиває шар шлаку, і у подальшому процесі термопара контактує безпосередньо з металом до завершення вимірювання та повного руйнування. Час вимірювання — до 5 с. Багаторазові термопари закріплюються на дні графітового наконечника, закріпленого безпосередньо на арматурі, який є закритим, і фактично вимірюють температуру поверхні графіту. Але для того, щоб температура графіту зрівнялася з температурою металу, потрібно більше 5 с. Тому зонд перебуває в металі стільки часу, скільки необхідно для зрівнювання температури графіту та металу. Хімічно агресивний нагрітий шлак може спричинити пошкодження самого зонда.

Необхідно зауважити, що під час ЕШП доводиться робити до декількох десятків вимірювань температури металу в процесі кожного плавлення. Вартість термоперетворювача становить приблизно 1÷2$ та складає приблизно половину вартості гільзи в цілому. Навіть у разі відносно невисокої вартості одного термоперетворювача за наявності на підприємстві декількох печей, які працюють постійно, витрати на придбання термоперетворювачів з гільзами є значними.

Основними недоліками контактного вимірювання температури розплаву металу в процесі ЕШП можна вважати:

- високу інерційність вимірювання;
- значні матеріальні витрати на придбання та заміну перетворювачів;
- вплив потужного електромагнітного поля на роботу термоперетворювача;
- вплив високої температури шлаку, крізь який проходить контактний термоперетворювач, на результати вимірювання температури;
- вплив матеріалу захисного ковпачка на властивості розплавленого металу;
- пошкодження частини зонду під час тривалого занурення термоперетворювача у розплавлений метал.

СПОСІБ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РОЗПЛАВУ МЕТАЛУ В ПРОЦЕСІ ЕШП

Зазначених вище недоліків позбавлений безконтактний метод вимірювання температури за випроміненням, який має таку перевагу за його застосування — можливість дистанційного багатократного

вимірювання температури розплаву металу під високим електричним потенціалом в агресивному середовищі з високою швидкодією. Авторами запропоновано два способи використання термометра випромінення. Перший полягає у вимірюванні температури поверхні графітового наконечника у замкненому просторі. Другий — у вимірюванні температури металу, що увійде до зонда після руйнування захисного ковпачка. Перевагою першого способу є те, що один і той самий зонд можна використовувати більше одного разу, фактично до повного його руйнування; другого —забезпечення безпосереднього оптичного контакту між поверхнею металу і пірометром.

Запропоновано конструкції зонду для безконтактного вимірювання температури розплаву металу в процесі ЕШП (рис. 3, 4). Як пірометр для безконтактного способу вимірювання температури металу пропонується застосовувати волоконний оптичний пірометр із оптичною головкою, встановленою безпосередньо в установчій арматурі. Оптична головка без електронних елементів спроможна витримувати набагато вищі температури. Блок електроніки можна винести у відносно безпечну частину установчої арматури і встановити безпосередньо в тій частині, де арматуру триматиме оператор. Для апробації способу вимірювання температури за допомогою пірометра обрано існуючу конструкцію установчої арматури з відповідними доопрацюваннями для можливості роботи як із закритим, так і з відкритим зондом. Це забезпечено набором змінних перехідних насадок, що встановлюються вже після оптичної головки пірометра і дозволяють закріплювати на собі або відкритий, або закритий зонд.

Як закритий зонд застосовується графітовий наконечник. Як відкритий зонд вирішено застосувати існуючі пробовідбірники, дещо спрощені і перероблені для цілей експерименту. Фактично пробовідбірники є картонними одноразовими циліндричними пакетами із захисною кришкою на кінці. Закріплюються вони на арматурі у звичайний спосіб.

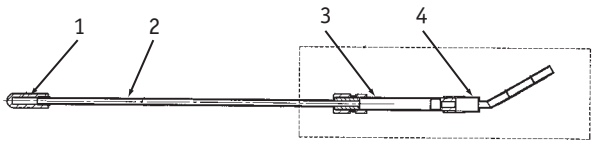

Рис. 3. Конструкція експериментальної установчої арматури (1 — закритий зонд; 2 — перехідна насадка; 3 — перехідник для встановлення насадок; 4 — установча арматура зі встановленим пірометром)

Розглянемо особливості процесу вимірювання температури розплавленого металу під час ЕШП за допомогою термометра випромінення. Температура об'єкта пов'язана з потоком випромінення за законом Планка згідно з рівнянням [4]:

$$L(\lambda,T)=\int_0^\infty C_1\lambda^{-5}\left(e^{\frac{C_2}{\lambda\cdot T}}-1\right)^{-1}d\lambda, \qquad (1)$$

де $C_1 = 3{,}7417749\cdot10^{-16}$ Вт·м², $C_2 = 0{,}01438769$ м·К [5], λ — довжина хвилі випромінення, $\varepsilon(\lambda,T)$ — коефіцієнт випромінення поверхні досліджуваного об'єкта, T — температура об'єкта.

На потік випромінення, що сприймається приймачем у певному спектральному діапазоні, можуть впливати такі чинники: значення коефіцієнта випромінення металу, фонове випромінення та пропускання проміжного середовища:

$$L(\lambda,T)=$$
$$=\int_{\lambda_1}^{\lambda_2}\varepsilon(\lambda,T)L_0(\lambda,T)\tau(\lambda,T)d\lambda+\int_{\lambda_1}^{\lambda_2}L_{\text{В}}(\lambda,T)\tau(\lambda,T)d\lambda, \qquad (2)$$

де $\varepsilon(\lambda,T)$ — коефіцієнт випромінення поверхні металу, $\tau(\lambda,T)$ — коефіцієнт пропускання проміжного середовища, $L_{\text{О}}(\lambda,T)$ — густина потоку випромінення АЧТ, $L_{\text{В}}(\lambda,T)$ — густина потоку фонового випромінення.

Розглянемо докладніше характер впливу цих чинників під час вимірювання температури за випроміненням розплаву металу в ЕШП. Метали зазвичай мають невисоке значення коефіцієнта випромінення в інфрачервоній області, яке зменшується зі збільшенням довжини хвилі. Але з ростом температури зменшується електрична провідність металу внаслідок теплового збудження молекулярної гратки, що зумовлює зростання значення його коефіцієнта випромінення [7]. Температура розплавленого металу може сягати від 1500 до 2500°С,

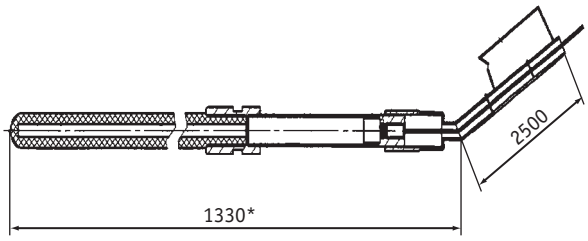

Рис. 4. Варіант конструкції експериментальної установчої арматури із закритим зондом (1 —закритий зонд; 2 — перехідник для встановлення насадок; 3 — оптична головка волоконного пірометра; 4 — волоконний оптичний кабель; 5 — блок електроніки оптоволоконного пірометра)

при цьому температура шлаку може бути вищою на 200 °С. Для процесу ЕШП недоцільно використовувати пірометри, що працюють у діапазоні видимих довжин хвиль, оскільки необхідно автоматизувати процес вимірювання. Тому такі високотемпературні вимірювання доцільно проводити у високотемпературній близькій інфрачервоній області від 1 до 2 мкм, тобто робочий спектральний діапазон засобу вимірювання $\lambda_1 \div \lambda_2$ має міститися у цій спектральній області.

До того ж необхідно відзначити, що, оскільки приймач випромінення конструктивно вбудовано в один кінець графітової трубки, другий кінець якої занурюється у розплавлений метал, це створює ефект АЧТ, що підвищує значення коефіцієнта випромінення розплавленого металу, значення якого прямуватиме до одиниці ($\varepsilon(\lambda, T) \to 1$).

Джерелом фонового випромінення можуть бути стінки графітової трубки, які нагріваються шлаком до температури, вищої за температуру розплавленого металу. Графіт є найтугоплавкішим матеріалом з температурою та тиском у потрійній точці графіту (графіт-рідкий вуглець-пара), рівними приблизно 5000 К та 100 бар [6]. Згідно з даними [7] для діапазону температур від 1000 до 3000 К для різних видів штучного графіту за довжини хвилі 0,65 коефіцієнт випромінення міститься у межах 0,80 — 0,95. У спектральному діапазоні від 1 до 10 мкм значення коефіцієнта випромінення різних видів штучного графіту міститься в інтервалі від 0,75 до 1,00. На основі залежностей, представлених у [7], можна сказати, що коефіцієнт випромінення графіту для зазначених температурного та спектрального діапазонів є практично сталим, а отже носить наближено селективний характер.

Тобто, за багатократного відбивання випромінення від стінок графітової трубки ефективна густина потоку випромінення визначається за формулою:

$$\begin{aligned} L_{\text{еф}}(\lambda,T) &= \varepsilon(\lambda,T)L_0(\lambda,T) + \varepsilon_{B1}(\lambda,T)L_{\text{B}}(\lambda,T)(1-\varepsilon(\lambda,T))\times \\ &\times(1+\sum_{n=1}^{\infty}(1-\ {}_{B1}(\lambda,T))^n(1-\varepsilon(\lambda,T))^n) = \\ &= \varepsilon(\lambda,T)L_0(\lambda,T) + (1-\varepsilon(\lambda,T))L_{\text{B}}(\lambda,T)\times \\ &\times\varepsilon_{B1}(\lambda,T)\frac{1}{1-(1-\varepsilon_{B1}(\lambda,T))(1-\varepsilon(\lambda,T))}. \end{aligned} \quad (3)$$

Загальною умовою нехтування багатократними відбиваннями для системи об'єкт-фон є виконання співвідношення [8]:

$$\lim\frac{1}{1-(1-\varepsilon_B(\lambda,T))(1-\varepsilon(\lambda,T))} \to 1. \quad (4)$$

Із цієї формули можна зробити висновок, що неврахування вже другого відбивання можливе за умови, якщо виконується співвідношення:

$$\left(1-\varepsilon(\lambda,T)\right)\left(1-\varepsilon_B(\lambda,T)\right) \ll 1. \quad (5)$$

Ефективний коефіцієнт фонового випромінення за багатократного відбивання випромінення [9] прямуватиме до 0 у випадку, наближено рівного або меншого значення температури стінок та температури металу, що спричиняє мінімальний вплив багатократних відбивань випромінення на сигнал пірометра. Для цього є доцільним застосування захисної арматури для графітової трубки. До того ж графітова трубка є закритим об'ємом, який наближено можна вважати абсолютно чорним тілом, що зменшує до мінімального вплив зовнішнього фонового випромінення від сторонніх об'єктів на результат вимірювання температури. Ці умови визначають, що вплив фонового випромінення на результати вимірювання буде малозначним, і можна ним знехтувати.

На проходження випромінення від поверхні металу крізь оглядове вікно до приймача випромінення можуть впливати згідно з виразом

$$\tau(\lambda,T) = f\left(\tau_{\text{пог}}(\lambda,T), \tau_{\text{випр}}(\lambda,T), \tau_{\text{роз}}(\lambda,T)\right) \quad (6)$$

такі фактори:

- випромінення поглинається газами та матеріалом світловода, які утворюють проміжне середовище, що характеризується коефіцієнтом поглинання $\tau_{\text{пог}}(\lambda,T)$;
- проміжне середовище додає власне випромінення, що характеризується коефіцієнтом випромінення $\tau_{\text{випр}}(\lambda,T)$;
- випромінення послаблюється внаслідок розсіювання на частинках, молекулах та аерозолях, присутніх у проміжному середовищі, що характеризується коефіцієнтом розсіювання $\tau_{\text{роз}}(\lambda,T)$.

Оскільки $\tau(\lambda,T)$ є основним чинником, який впливатиме на потік випромінення від розплавленого металу до приймача випромінення, доцільно для вимірювання температури використовувати метод спектрального відношення сигналів у двох близьких за спектром спектральних каналах. З урахуванням відмінностей між пропусканням проміжного середовища у двох спектральних каналах термодинамічна температура визначатиметься за формулою:

$$T^{-1} = T_{\kappa}^{-1} - \frac{1}{C_2}\cdot\frac{\lambda_1\lambda_2}{\lambda_1+\lambda_2}\cdot\ln\frac{\tau(\lambda_2,T)}{\tau(\lambda_1,T)}. \quad (7)$$

Умовна температура методу спектрального відношення (кольорова температура) T_{κ} визначається на основі відношення між сигналами $S_i(\lambda,T)$ у двох спектральних каналах термометра випромінення:

$$T_{\kappa}^{-1} = -\frac{\lambda}{C_2}\cdot\ln\frac{S_2(\lambda,T)}{S_1(\lambda,T)}. \quad (8)$$

Незалежно від практичної реалізації двоканального термометра випромінення сигнал і-го каналу пірометра можна описати формулою:

$$S_i(\lambda_i,T) = \\ = q_i \int_{\lambda_{1i}}^{\lambda_{2i}} \frac{\varepsilon(\lambda_i,T)\tau\ (\lambda_i,T)\tau_{Fi}(\lambda_i)R_i(\lambda_i,T)C_1}{\lambda_i^5\left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda_i T}\right)-1\right]} d\lambda + \\ +S_{Di}(T_P)+S_{Ni}, \quad (9)$$

де q_i — стала, що залежить від конструкції пірометра; $\tau(\lambda,T)$ — коефіцієнт пропускання проміжного середовища; $\tau_{F_i}(\lambda)$ — коефіцієнт пропускання оптичної системи; $R_i(\lambda_i,T)$ — спектральна чутливість приймача випромінення та оптичної системи; $S_{D_i}(T_P)$ — сигнал, пропорційний власному випромінення приймача випромінення; S_{Ni} — сигнал, пропорційний значенню шумів приймача випромінення та електронного тракту.

ВИСНОВКИ

Отже, як видно з проведеного дослідження особливостей вимірювання температури за випромінення у процесі ЕШП, основний вплив на результат вимірювання чинитиме пропускання випромінення проміжним середовищем між поверхнею розплаву металу та приймачем випромінення. Тому для безконтактного вимірювання температури є доцільним використання методу спектрального відношення та термометра випромінення з двома спектральними каналами. Доцільним також є додаткове дослідження поглинальних властивостей газів, що можуть утворюватися в графітовому наконечнику в процесі ЕШП, у близькій інфрачервоній області. Вплив інших факторів, таких як коефіцієнт випромінення поверхні та фонове випромінення, може бути нехтовно малим. Це забезпечує можливість високоточного вимірювання температури розплаву металу в процесі ЕШП з використанням термометра випромінення, що дозволить покращити якість виробів з металу з заданим поєднанням їх службових властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Латаш Ю. В., Медовар Б. И. Электрошлаковый переплав. — М.: Металлургия, 1970. — 239 с.
2. http://www.omskzkz.ru/process/index.php
3. http://priborist.com
4. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение. — М.: Мир, 1988. — 399 с.
5. Брянский Л.Н., Дойников А.С. Краткий справочник метролога. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 79 с.
6. Bundy F.P., Basset W.A., Weathers M.S. et al. The Pressure-Temperature Phase and Transformation Diagram for carbon; Update Through, 1994 // Carbon. — 1996. — Vol 34. — № 2. P. 141—153.
7. Излучательные свойства твердых материалов. Под ред. А.Е. Шейндлина. — М.: Энергия, 1974. — 470 с.
8. Гоц Н.Є., Гриневич Б.Ю., Засименко В.М. Умова нехтування впливом багатократних відбивань за наявності фонового випромінювання // Вимірювальна техніка та метрологія. — Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». — 2002. — № 60. — С. 131—132.
9. Гоц Н. Є. Підвищення точності вимірювання температури за випроміненням поверхні обертових об'єктів: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.11.04 / Національний університет «Львівська політехніка». — Львів, 2003. — 20 с.

МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ «MACROSCALE 2011»

У жовтні у Ваберне (Швейцарія) відбулася міжнародна конференція «MacroScale 2011», присвячена просторово-розмірним вимірюванням у макроскопічній шкалі. Її організаторами стали Федеральний офіс метрології METAS (Швейцарія) і PTB (Німеччина).

Учені метрологічних інститутів із 20 країн Європи, Америки, Азії й Африки представили на конференції близько 50 доповідей за тематикою з таких напрямків: інтерферометрія, у тому числі високої роздільності; координатна метрологія, у тому числі оптична; мікрокоординатна метрологія; метрологія вимірювань кутових і форми; калібрування еталонів довжини; вимірювання структури поверхні; техніка на основі фемтосекундних лазерів.

Учасники конференції обговорили актуальні питання забезпечення єдності й простежуваності просторово-розмірних вимірювань, методів, алгоритмів й методик їх проведення, визначення й обліку похибок, застосування ЗВТ, результатів міжнародних звірень; мали можливість відвідати лабораторії швейцарського інституту метрології.

Україна на конференції презентувала доповідь співробітників ННЦ «Інститут метрології» Купка В. С., Бороха В. І. і Ковшова С. Б «Еталонний компаратор для вимірювання довжини».

С. Ковшов, старший науковий співробітник ННЦ «Інститут метрології», м. Харків