

УДК 006.91:004.942

Б.А. Моргун, И.В. Прокопович, М.М. Костина, Ю.Б. Моргун

Одесский национальный политехнический университет

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСУ ТП НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ МЕДНОЙ КАТАНКИ

Проанализированы методы и средства метрологического обеспечения для автоматизированной системы управления технологическим процессом непрерывного литья безкислородной медной катанки. Получили дальнейшее развитие методы измерения температуры подвижной металлической поверхности, заключающиеся в использовании для этой цели скользящей беспаяной термопары с двумя термоэлектродами. Достигнута стабилизация технологических и электротехнических свойств медной катанки, получаемой на многоручьевой литейной машине, в соответствии с техническими условиями на производство.

Ключевые слова: метрологическое обеспечение, термопара, непрерывное литье, катанка медная.

Введение

Постановка проблемы. Метрологическое обеспечение АСУ в значительной степени зависит от точности и быстродействия применяемой измерительной аппаратуры. Особенно это становится важным в ТП, в которых измеряемые параметры являются управляющими сигналами АСУ и точность их измерений напрямую влияет на разброс физических, технологических и других свойств получаемой продукции.

Анализ последних достижений и публикаций. Для производства заготовок для волочения медных проводов тонких и сверхтонких сечений (катанки) в настоящее время используются различные технологические процессы [1, 2]:

- горячая прокатка из медных слитков;
- непрерывное литье заготовки с последующей прокаткой до требуемого сечения;
- непрерывное литье заготовки с конечным требуемым сечением.

В первых двух случаях получают ЕТР-катанку, но при этом происходит насыщение меди кислородом, что отрицательно сказывается на технологических и электротехнических свойствах меди. Третий технологический процесс позволяет получить НСОФ-катанку (безкислородную), что существенно сокращает количество разрывов при волочении [2, 3, 4].

На ПАТ «ОДЕСКАБЕЛЬ» безкислородную катанку получают на многоручьевых автоматических линиях (Urcast) в виде бесконечного слитка постоянного сечения при прохождении расплава через узел «кристаллизатор – охладитель» [5]. При этом используется многоручьевая литейная машина с двумя технологическими осями. Каждая технологическая ось позволяет получать катанку в 8 стренг [4].

Моделирование процессов теплообмена в «кристаллизаторе – охладителе» позволяет выбрать оптимальные режимы управления процессом литья

для обеспечения стабильных свойств получаемой катанки [6 – 11]. В большинстве случаев соответствующий режим охлаждения выбирается на основании линейной корреляции со скоростью литья и неким ожидаемым влиянием этой скорости на температуру поверхности стренги на границах зон охлаждения [2, 5, 12, 13].

Такой подход к управлению процессом охлаждения в разомкнутом контуре без обратной связи с линейной статической компенсацией неэффективен, т.к. коэффициент термодиффузии и отношение между расходом охлаждающей воды и скоростью литья нелинейно, а сам процесс характеризуется рядом неустойчивых состояний [3, 14, 15, 16], что существенно влияет на качество получаемой катанки. Кроме того, при эксплуатации данной установки выявлено, что при одинаковых условиях (температура расплава, скорость литья, температура и расход охлаждающей жидкости) на различных стренгах появляется производственный брак, связанный с неправильным теплообменом в узле «кристаллизатор – охладитель» [3], а свойства катанки получаемых на разных стренгах существенно отличаются [4].

О ходе процесса кристаллизации и интенсивности теплообмена можно судить по температуре поверхности стренги при выходе из литейной машины.

Целью работы является разработка метрологического обеспечения АСУ ТП получения катанки, которое своевременно и с наибольшей достижимой точностью позволит определять температуру расплава и поверхности катанки в охладителе и на выходе из него для обсчета управляющих воздействий на скорость литья и расхода охлаждающей воды, что позволит повысить качество выпускаемой продукции и снизить брак.

Изложение основного материала

В настоящее время для компенсации изменений скорости литья методом линейного и стацио-

нарного упреждающего регулирования используется схема управления, изображенная на рис. 1, где $q_0(t)$ – минимально допустимый расход охлаждающей воды [17, 18]. В работе для этого использовали нейронную сеть [19].

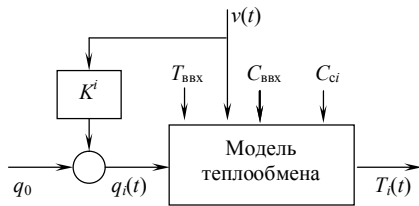


Рис. 1. Схема управления процессом теплообмена

Связь между параметрами технологии и параметрами качества непрерывных медных отливок



Рис. 2. Связь между параметрами технологии и параметрами качества непрерывных медных отливок

Однако, при эксплуатации роликовых термопар выявился их основной недостаток – инертность, что приводит к несвоевременной передачи управляющих воздействий. Поэтому для измерения температуры поверхности движущейся стренги был разработан «Зонд для измерения температуры поверхности тела» [20].

Цель создания предлагаемого метода – снижение погрешности измерения.

Поставленная цель достигается тем, что в зонде для измерения температуры поверхности электропроводных тел присутствуют два термоэлектрода, выполненных в виде компенсационных спиралей. Эти термоэлектроды создают термопару, закрепленную в изолированном сердечнике. Рабочий конец термопары не имеет спая, а термоэлектроды свободно контактируют с поверхностью тела, температура которого измеряется.

Технический эффект, достигаемый при применении предлагаемого метода, заключается в том, что

представлена на рис. 2. Температуру поверхности стренг измеряли при помощи роликовых термопар, которые одновременно могут выполнять роль датчиков обрыва стренги. Роликовая термопара представляет собой медный гиперболический ролик с запрессованной медно-графитовой втулкой, в которую вмонтирован спай термопары.

На рис. 3 приведены данные по изменению во времени технологических параметров процесса: температуры стренги на выходе из литейной машины, скорости литья и расхода охлаждающей воды, а также связанными с этими переменными параметрами качества непрерывной отливки: временное сопротивление разрыву и относительное удлинение металла отливки.

конструкция зонда исключает высокую инерционность прогрева спая термопары, а также рассеяние тепла пластинчатой пружиной, к которой приварены спай термопары, что снижает погрешность измерений.

На рис. 4 изображен зонд, который имеет термоэлектроды 1 и 2, свободно расположенные на выходе и выступающие за плоскость торца зонда. Выводы термоэлектродов закреплены в изолированном сердечнике 3, встроенном в металлический стакан 4.

Через обойму 5, выполненную из пластмассы, проложен держатель 6 с кабелем 7, к жилам которого присоединены выводы термоэлектродов 1 и 2. Каждый термоэлектрод имеет компенсатор длины, выполненный в виде спирали 8.

Для измерения температуры зонд прижимается к испытуемой поверхности. При этом, термоэлектроды входят в контакт с металлической поверхностью и создают термопару, в которой есть промежуточный третий электрод, который не влияет на термоэдс, поскольку температура контактов равна.

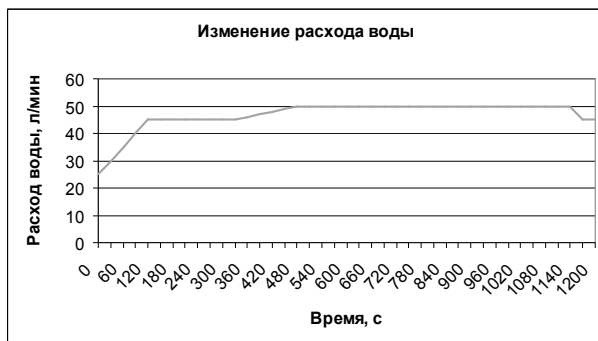
Конструкция зонда, выполненная в соответствии с изобретением, который предлагается, позволяет измерять температуры движущихся металлических поверхностей в труднодоступных местах.



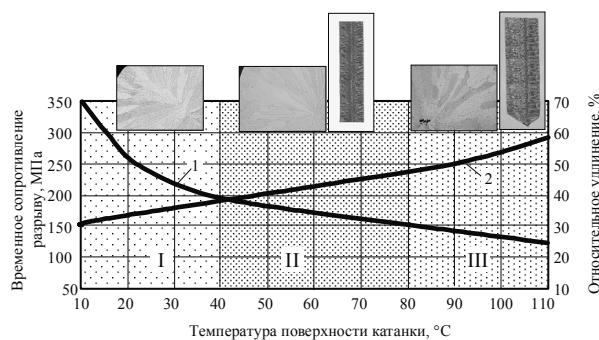
а



б



в



г

Рис. 3. Зависимость от времени температуры стренги на выходе из литейной машины (а), скорости литья (б) и расхода охлаждающей воды (в), а также связанные с этими переменными параметры качества непрерывной отливки: временное сопротивление разрыву (г, 1) и относительное удлинение (г, 2)

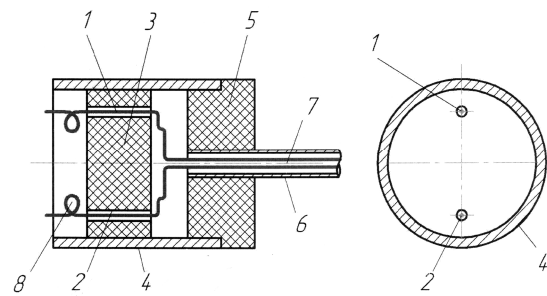


Рис. 4. Температурный зонд для предлагаемого метода измерений температуры подвижных поверхностей

Сравнение метрологических характеристик средства измерения температуры поверхности стренги для прототипа и предлагаемого метода приведено в табл. 1. Как видно из табл. 1, у предлагаемого средства измерения температуры подвижной металлической поверхности значительно улучшены по сравнению с прототипом показатели чувствительности и погрешности измерений.

Таблица 1

Сравнительные метрологические характеристики средства измерения температуры поверхности стренги

Характеристика	Прототип: роликовая термопара	Предлагаемый метод
чувствительность	$1 \pm 0,07$	$1 \pm 0,03$
порог чувствительности:	$1,72 \text{ } ^\circ\text{C}$	$0,83 \text{ } ^\circ\text{C}$
– по температуре	3 с	0,65 с
– по времени		
диапазон показаний	50 – 500 $^\circ\text{C}$	50 – 500 $^\circ\text{C}$
диапазон измерений	50 – 200 $^\circ\text{C}$	50 – 200 $^\circ\text{C}$
погрешность	$\pm 8 \%$	$\pm 4 \%$

Выводы

Разработанный авторами метод измерения температуры поверхности токопроводящих тел двумя контактными термоэлектродами обладает высокой точностью измерений, исключает инерционность прогрева спая термопары и обеспечивает быстрое действие АСУ. В результате применения разработанного метрологического обеспечения АСУ ТП получения медной непрерывной отливки удалось получить 16 ручьев без разброса физических, технологических и электро-технических свойств, а также резко снизить процент брака из-за «замерзания» стренг в кристаллизаторе, их обрывов и пустотелости из-за перегрева.

Предложенный метод измерения температуры поверхности токопроводящих материалов может быть использован в системах с такими особенностями, как труднодоступность, движение элементов системы, малая величина поверхности для измерения, невозможность применения стандартных датчиков температуры.

Список літератури

1. McNulty, Michael J. *Multi-wire technology: The Advantage and the Challenge* / Michael J. McNulty // *Non ferrous wire handbook*. – 1995. – Volume 3: Principles and Practice. Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
2. Metzler, David A. 1995. *Ultrafine Drawing of Copper Wire* / David A. Metzler // *Non ferrous wire handbook*. – 1995. – Volume 3 Principles and Practice. Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
3. Прокопович О.І. Автоматизація виробництва високоякісної катанки для виготовлення проводів сверхтонких сечень / О.І. Прокопович, І.В. Прокопович, В.Д. Гогунський // *Труды Одесского политехнического университета*. – Одеса, 2002. Спецвыпуск. – С. 68 – 71.
4. ТУ У 27.4-05758730-028–2003. Катанка медная. – ОАО Одесский кабельный завод “Одескабель”, 2003. – 20 с.
5. Pietila, Seppo. 1995. *Outokumpu Upcast® Continuous Casting System* / Seppo Pietila // *Non ferrous wire handbook*. – 1995. – Vol. 3: Principles and Practice Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc.
6. Прокопович О.І. Температура поверхності катанки як ковсений параметр якості / О.І. Прокопович, І.В. Прокопович, В.Д. Гогунський // *Труды Одесского политехнического университета*. – Одесса, 2003. – Вып. 2(20). – С. 128 – 130.
7. Прокопович О.І. Управление процессом кристаллизации непрерывного медного слитка / О.І. Прокопович, В.Д. Гогунський, І.В. Прокопович // *Материалы XI семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях»*. – Одесса, 9 – 10 января 2004. – С. 44 – 46.
8. Либутіна, О.В. Дослідження технологічного процесу безперервного лиття міді з метою покращення якості / О.В. Либутіна, І.В. Прокопович // *Матеріали 39-ої наукової конференції молодих дослідників ОПУ-магістрантів «Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі»*. – Одеса, 2004. – С. 107.
9. Становский, А.Л. Физический метод оценки плотности отливок / А.Л. Становский, І.В. Прокопович, М.А. Духанина // *Матеріали XIII Міжн. науково-технічної конференції «Неметалеві вкраплення і газу у ливарних сплавах»*. – Запоріжжя, 9 – 12 жовтня 2012. – С. 33 – 34.
10. Мучник Г.Ф. *Методы теории теплообмена. Ч. 1. Теплопроводность* / Г.Ф. Мучник, І.Б. Рубашов – М.: Высшая школа, 1970. – 288 с.
11. *Методы компьютерной обработки изображений [текст]* / Под ред. В.А. Сойфера. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 784 с.
12. Кац, А.М. *Теплофизические основы непрерывного литья слитков цветных металлов и сплавов* / А.М. Кац, Е.Г. Шадек – М.: Металлургия, 1983. – 208 с.
13. McNulty, Michael J. *Multi-wire Technology* / Michael J. McNulty // *The Advantage and the Challenge*. – Volume 3 – In: *Non ferrous wire handbook. Principles and Practice*. Horace Pops, Editor-in-chief. The Wire Association International, Inc., 1995. – P. 326 – 334.
14. Прокопович О.І. Непрерывное литье цилиндрических заготовок из цветных сплавов / О.І. Прокопович, І.В. Прокопович // *Литейное производство*. – М., 2003. – № 3. – С. 19 – 22.
15. Прокопович О.І. Проблемы производства цилиндрических заготовок из цветных сплавов способами непрерывного литья / О.І. Прокопович, І.В. Прокопович // *Материалы между. конференции «Пути повышения качества и экономичности литейных процессов»*. – Одесса, 12 – 14 сентября 2002. – С. 52 – 53.
16. Колеснікова, К.В. Застосування нейронної мережі для рішення рівнянь математичного опису рівноваги системи «шлак–метал» / К.В. Колеснікова, Г.В. Кострова // *Материалы VIII между. конференции «Пути повышения качества и экономичности литейных процессов»*. – Одесса, 2004. – С. 106 – 108.
17. El-Bealy M. *Simulation of cooling conditions in secondary cooling zones in continuous casting process* / M. El-Bealy, N. Leskinen, N. Predriksson. – *Ironmaking and Steelmaking*. – 1995. – № 3 (22). – P. 246 – 255.
18. Lober P. *Industrielle Steuerungstechnik* / P. Lober. – Berlin, Institut für Automatisierungstechnik. – TU Bergakademie Freiberg 01.01.2000.
19. Применение нейронных сетей для управления процессами теплопередачи при непрерывном литье меди / О.І. Прокопович, Ю.А. Морозов, І.В. Прокопович, Е.В. Колеснікова // *Материалы IX международной конференции «Пути повышения качества и экономичности литейных процессов»*. – Одесса, 7 – 9 сентября 2005. – С. 66 – 71.
20. Патент України на корисну модель UA 104319 U, G01K 7/02. Зонд для вимірювання температури поверхні тіл / Г.О. Оборський, Б.О. Моргун, Ю.Б. Моргун, І.В. Прокопович. – № u201506612; заявл. 06.07.2015; опубл. 21.01.2016. – Бюл. № 2.

Поступила в редколлегию 1.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Н. Тихенко, Одесский национальный политехнический университет, Одесса.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСУ ТП БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТВА МІДНОЇ КАТАНКИ

Б.О. Моргун, І.В. Прокопович, М.М. Костіна, Ю.Б. Моргун

Проаналізовано методи та засоби метрологічного забезпечення для автоматизованої системи управління технологічним процесом безперервного лиття безкисневої мідної катанки. Отримали подальший розвиток методи вимірювання температури рухомої металевої поверхні, які полягають у використанні для цієї мети ковзної безспайної термопари з двома термоелектродами. Досягнуто стабілізація технологічних і електротехнічних властивостей мідної катанки, яку одержують на багатострумкової ливарної машині, відповідно до технічних умов на виробництво.

Ключові слова: метрологічне забезпечення, термopара, безперервне лиття, катанка мідна.

METROLOGICAL ASSURANCE OF AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM OF CONTINUOUS CASTING COPPER ROD

B.A. Morgun, I.V. Prokopovich, M.M. Kostina, Yu.B. Morgun

The methods and means of metrological assurance for the automated process control system of continuous casting of oxygen-free copper wire rod. Further developed methods for measuring the moving metal surface temperature is to use for this purpose the sliding no junction thermocouple with two thermoelectrodes. Reached stabilization technology and electrical properties of the copper rod, received on multi-ribbed casting machine in accordance with the technical specifications for the production.

Keywords: metrological provision, thermocouple, continuous casting, copper rod.