

УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ ПОЛЕМ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЄВИХ ПРОФІЛІВ,

А. Б. БУНДЗА^{1*}, О. С. ЄЛІЗАРОВ¹, С. М. КУЩОВИЙ²

¹ Державне спеціальне конструкторсько-технологічне бюро фізичного приладобудування з дослідним виробництвом Інституту фізики Національної Академії наук України, м. Київ, УКРАЇНА

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, УКРАЇНА

* e-mail: bundza@iop.kiev.ua

АНОТАЦІЯ В роботі досліджено метод управління температурним полем технологічного процесу екструзії алюмінієвих профілів. Визначено, що під час виробництва алюмінієвих профілів важливим є контроль відхилення температури від заданого значення та її рівномірність розподілу по поверхні заготовки. Від цих параметрів залежить якість алюмінієвих профілів, відсоток браку та об'єми виробництва загалом. Активних засобів контролю температурних параметрів процесу екструзії алюмінієвих профілів раніше запропоновано не було, тому дана робота присвячена розробці такого контрольно-вимірювального комплексу, який би вирішив поставлену задачу. Для вирішення проблеми керування температурним полем в процесі екструзії запропоновано використати пристрій для безконтактного вимірювання температури поверхні алюмінію, який буде складовою частиною контрольно-вимірювального комплексу.

Ключові слова: екструзія, температурне поле, контрольно-вимірювальний комплекс, пірометр спектрального відношення, алюмінієві профілі, якість продукції

АННОТАЦИЯ В работе исследован метод управления температурным полем технологического процесса экструзии алюминиевых профилей. Определено, что при производстве алюминиевых профилей важен контроль отклонения температуры от заданного значения и ее равномерность распределения по поверхности заготовки. От этих параметров зависит качество алюминиевых профилей, процент брака и объемы производства в целом. Активных средств контроля температурных параметров процесса экструзии алюминиевых профилей ранее предложено не было, поэтому данная работа посвящена разработке такого контрольно-измерительного комплекса, который бы решил поставленную задачу. Для решения проблемы управления температурным полем в процессе экструзии предложено использовать устройство для бесконтактного измерения температуры поверхности алюминия, которое будет составной частью контрольно-измерительного комплекса.

Ключевые слова: экструзия, температурное поле, контрольно-измерительный комплекс, пирометр спектрального отношения, алюминиевые профили, качество продукции

CONTROL THE TEMPERATURE FIELD OF EXTRUSION PROCESS IN PRODUCTION ALUMINUM PROFILES

A. BUNDZA¹, A. ELIZAROV¹, S. KUSCHOVYI²

¹ Special design and technological bureau of optical instrumentation of the Institute of Physics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, UKRAINE

² National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UKRAINE

ABSTRACT The main goal of this work is the control of temperature deviation from the set value and its even distribution on the surface of the workpiece during extrusion in the production of aluminum profiles. From these parameters affects the quality of aluminum profiles, lack of interest and the production volume in general. Active controls temperature parameters of the extrusion of aluminum profiles previously not been proposed because this work is devoted to the development of the control and measuring complex, which would be decided the task. To solve the problem temperature control during extrusion proposed use the device for contactless measuring the surface temperature of aluminum, which is part of the control and measuring complex. For this purpose at certain points of the production line to install contactless measuring temperature, namely pyrometer DPR-1. When using control-measuring complex, where the temperature measurement used pyrometer DPR-1, overheating the metal factor is excluded, and therefore decreases the production of substandard products and there is energy savings. In the complex information about melting temperature is transferred from pyrometer to the computer and is displayed in digital form, which allows at any time to review the finished aluminum extrusion processes. Control-measuring complex provides temperature data according to which it is possible to control the speed of the conveyor and power induction heating system that allows you to increase the volume of finished products at optimized expenses for electricity.

Keywords: extrusion, temperature field, control-measuring complex, spectral ratio pyrometer, aluminum profiles, product quality

Вступ

Сучасний розвиток промисловості України складно уявити без технічного прогресу сфери

кольорових металів, а неувага до економічного зростання внутрішнього ринку цієї галузі розглядається як серйозна загроза фінансовій безпеці країни. Особливо це стосується виробів з алюмінію та його сплавів, які за рахунок своїх унікальних властивостей стали незамінними в машинобудуванні (авіабудування та автомобілебудування), а також в приладобудуванні і електротехніці. До уваги, частка виготовлених виробів з алюмінію разом з міддю, цинком і свинцем складає близько 96%, а саме виробництво кольорової металургії в цілому характеризується 70 різними металами [1]. Поєднання таких факторів зумовлює високі вимоги, що пред'являються технологічним процесам металургійного комплексу держави. Однією з надважливих проблем цієї галузі є контроль температурного режиму, від якого залежить якість продукції та відсоток браку [2-5]. Дану проблему намагаються вирішити з допомогою впровадження безконтактних методів вимірювання температури, які вже добре себе зарекомендували [6]. Зокрема це стосується тих методів, що базуються на спектральній пірометрії і мають ряд переваг серед інших способів контролю температури об'єктів [7]. Особливо актуальною задачею є керування температурним полем в системах нагріву алюмінієвих елементів перед пресуванням [8]. Цей процес називають екструзією.

Екструзія – це технологічний процес отримання виробів шляхом екструзування матеріалу через формувальний отвір (фільєра) у матриці. Зазвичай використовується у виробництві будівельних матеріалів, виробів з полімерних матеріалів, конструкційних металевих профілів, а також в харчовій промисловості, шляхом протискування пластифікованого матеріалу через отвір екструзійної головки преса [9, 10].

Постановка проблеми

Сьогодні в промисловості для виготовлення виробів з кольорових металів з допомогою пресування застосовують різні технології. Однією з таких є екструзія алюмінію [9-11]. Світовий ринок екструзійних продуктів складає близько 6 млн тонн на рік, в той час коли європейський ринок екструзії є основним ринком, особливо для виробів з алюмінію (обсяг близько 2,8 млн тонн на рік). Зауважимо, в Європі встановлено близько 480 пресів для екструзії алюмінієвих заготовок, що є важливим аспектом в умовах Євроінтеграційних процесів. Тому питання, які пов'язані з екструзією алюмінію актуальні і потребують уваги.

Нагрівання перед пресуванням полегшує процес обробки матеріалу та сприяє підвищенню його пластичності. Відомо, що алюміній та мідь досить добре піддаються обробці, зокрема витягуванню в дрот і прокатці в тонкі листи. До всього іншого алюміній володіє рядом унікальних якостей і

властивостей, цінних у металургії: досить міцний, легкий, має гарну стійкість до корозії і багато іншого [10].

Перед пресуванням алюмінієві заготовки нагрівають від кімнатної температури до кінцевих температур 400-500 °С. В основному, для попереднього нагрівання заготовки перед екструзією використовують газові печі й індукційні нагрівачі [10, 16]. Широка область застосування індукційного нагріву для різних видів термообробки вимагає простих і точних методів управління системою. Для проектування і вибору необхідних складових елементів системи, наприклад конденсаторів і трансформаторів, необхідно знати основні параметри індуктора: струм, напруга і коефіцієнт потужності. Але у кінцевому підсумку вибір обладнання залежить від багатьох інших факторів, тому що, як зазначалося вище, технології плавки металу характеризуються високими вимогами до процесу нагрівання, а саме:

- незначне відхилення температури від заданого значення;
- рівномірність температурного розподілу в заготовці;
- малі інвестиційні витрати;
- малі експлуатаційні витрати (високий ККД, малі енерговитрати, обслуговування і можливість ремонту, низький відсоток браку при налагодженні);
- висока продуктивність;
- швидка готовність до роботи;
- відсутність шкоди, що завдається навколишньому середовищу (низька забрудненість виробничої території теплом, відпрацьованими газами і шумами) [8].

Отже, в процесі екструзії виробництва алюмінієвих профілів важливим є контроль відхилення температури від заданого значення та її рівномірність розподілу по поверхні заготовки.

Вирішення задачі

Зупинимося на пріоритетних факторах, які зумовлюють оптимізацію процесу екструзії алюмінієвих профілів, а саме: контроль температури відповідно до заданого нормованого значення технологічного процесу та рівномірність розподілу температурного поля в заготовці.

Для вирішення проблеми керування температурним полем в процесі екструзії алюмінію пропонується застосування пристрою для безконтактного вимірювання температури поверхні алюмінієвого профілю. Вимірювання температури відбувається після виходу об'єкту контролю з екструдера незалежно від його випромінювальної здатності та розміру. На рис. 1 наведений схематичний варіант вдосконалення процесу екструзії алюмінію, з допомогою введення дистанційного активного засобу управління температурним полем в заготовці, яку нагрівають. А саме, мається на увазі, застосування пристрою контролю температури ДПП-1

(рис. 2), методика вимірювання якого, базується на використанні співвідношення енергетичних яскравостей контрольованого об'єкту в двох спектральних зонах вимірювання.

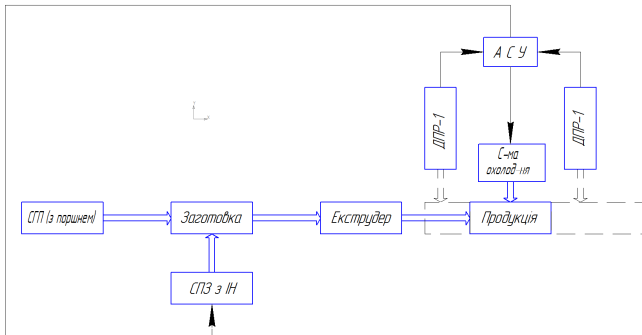


Рис. 1 – Схема процесу екструзії алюмінію з «вмонтованим» пристроєм контролю температури (ДПР-1)

Методи і матеріали

В даному запропонованому дистанційному вимірювачі температури здійснюється двоспектральна схема вимірювання, без врахування коефіцієнта випромінювальної здатності. Ці дистанційні вимірювачі із великою точністю визначають температуру об'єктів понад 200 °С аж до температури фазових переходів (ΔT від +200 °С до 3500 °С).



Рис. 2 – Пристрій для безконтактного вимірювання температури поверхні нагрітих тіл [12]

Основним елементом приладу є піроелектричний приймальний пристрій (ППП), який призначений для реєстрації теплового випромінювання об'єктів в спектральному діапазоні 0,5~45 мкм (в приладі, за допомогою оптичних фільтрів, використовуються довжини хвиль: 1,6; 2,2; мкм) рис. 3.

ППП розроблений на базі піроелектричного приймача випромінювання, чутливий елемент якого являє собою плоско-паралельну пластину, виготовлену з піроактивного матеріалу

(поляризований танталат літію), на протилежні сторони якої нанесено електроди. Під дією теплового випромінювання пластина нагрівається і її спонтанна поляризація зменшується, що приводить до змін

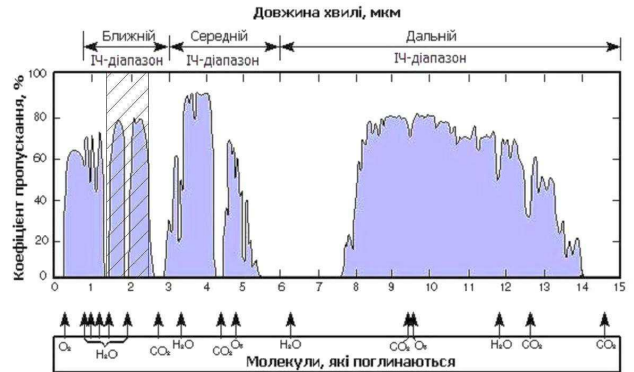


Рис. 3 – Залежність коефіцієнту пропускання від довжини хвилі [13]

заряду конденсатора, які можна реєструвати. Поріг чутливості на частоті модуляції 20 Гц порядку $1 \div 2,5 \cdot 10^{-10}$ Вт/Гц $1/2$, а вольтова чутливість $-10^5 \div 10^7$ В/Вт. Можна використовувати фотонні приймачі, які мають поріг чутливості менше $1 \cdot 10^{-10}$ Вт/Гц $1/2$ (такі приймачі використовуються за кордоном і нашими вітчизняними виробниками), однак, вони сприймають випромінювання з довжиною хвиль до 1,2 мкм, але при температурі 500 °С сигнал не достатній. Крім того, всі фотонні приймачі мають сильну залежність від температури і потребують високоточної термостабілізації для підтримання рівня чутливості приладів, що веде до пониження надійності при їх використанні. Піроелектричні приймачі не потребують термостабілізації і зберігають свою порогову чутливість в широкому інтервалі температур (від -100 до +600 °С) і у всьому вищенаведеному спектральному діапазоні.

Прилад складається з трьох частин: оптичної, ППП і електронної. Оптична частина здійснює концентрацію теплового випромінювання, від об'єкту на ППП.

Тепловий потік, який потрапляє в об'єкти приладу не характеризує власну температуру контрольованого об'єкту, оскільки остання визначається коефіцієнтом випромінювальної здатності (коефіцієнт емісії), який змінюється в залежності від матеріалу об'єкту, стану його поверхні і температури. Це набагато ускладнює процес вимірювання.

Якщо нам необхідно вимірювати і контролювати температуру одного і того ж об'єкту з постійною випромінювальною здатністю, або різних з їх також іншим постійним коефіцієнтом випромінювання, то можна виготовити односпектральний пірометр з фіксованим значенням коефіцієнтів, які задаються в залежності від матеріалу і поверхні контрольованих об'єктів.

Зауважимо, що для вирішення поставленої задачі щодо контролю температури алюмінієвих профілів перед їх пресуванням застосування односпектрального методу не є доцільним і технологічним, так як практично в процесі екструзії температура вимірюється з великої відстані (від 5 до 10 метрів) і тоді профіль потрапляє частково в поле зору, що зумовлює невідповідність показів та сильну похибку вимірювань, тому перевагу віддають спектральній пірометрії, яка дозволяє отримувати правильні значення температури незалежно від значення коефіцієнту випромінювальної здатності об'єкту.

В багатьох випадках ми не знаємо коефіцієнт випромінювання об'єкту і його розміри, до того ж він ще й різний для кожного об'єкту і має різну температурну залежність. У цьому випадку використовується спектральний метод вимірювання температури.

Ці прилади називаються пірометрами спектрального відношення. Методика вимірювання цих пірометрів базується на використанні відношення теплових потоків від контрольованого об'єкту в двох спектральних зонах їх вимірювань. Найчастіше це дві зони які перекриваються, або прилеглі одна до одної.

Результати вимірювань виводяться на цифровий індикатор (рис.4). В аналоговій формі, - вихідний струм від 4 до 20 мА та в цифровій формі через стандартний RS-232, RS-485 для під'єднання до ПК.



Рис. 4 – Цифровий індикатор пірометра спектрального відношення ДПР-1

Згідно закону Віна [14] нагріте до певної температури тверде тіло випромінює енергію в певному спектрі довжин хвиль з постійною інтенсивністю на кожній довжині хвилі відповідно до його температури. Якщо в спектрі випромінювання виділити дві вузькі смуги довжин хвиль і виміряти випромінювання, що надходить від нагрітого тіла, в кожній з цих смуг, а потім знайти відношення отриманих значень енергій, то знайдений результат однозначно визначить температуру, яку мало тіло в момент вимірювання енергій. При такому методі вимірювання температури твердого тіла результат не

залежатиме від того чи було заповнене поле зору приладу поверхнею розігрітого тіла, чи в поле зору приладу потрапила частина поверхні розігрітого тіла разом з іншими холодними тілами. Головна вимога до умови вимірювання - щоб енергія, яка потрапляє в об'єкти приладу була достатньої величини для отримання відношення енергій з врахуванням чутливості піроприймачів.

Пірометр спектрального відношення ДПР-1 є одноблочний прилад, блок-схема якого приведена на рис. 5 [15].

В передній частині приладу розташований об'єктив (1), на вхід якого потрапляє видиме та ІЧ випромінювання від поверхні об'єкта. За об'єктивом розташоване розподільче дзеркало (2), яке розділяє видиме та ІЧ випромінювання. Видимі промені відбившись від дзеркала (7) потрапляють через об'єктив візування (8) на матове скло (9), на якому формується зображення об'єкта. Потік ІЧ випромінювання, який пройшов модулятор (3) ділиться розподільчим фільтром (4) на два потоки, направлених на перший піроприймальний пристрій (ППП) (5) та другий ППП (6) відповідно. На вході кожного ППП встановлені світлофільтри з різними спектральними смугами пропускання.

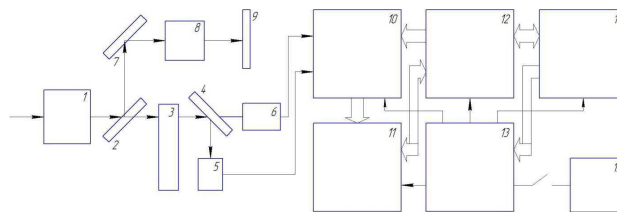


Рис. 5 – Блок-схема роботи ДПР-1

(1 – об'єктив; 2 – розподільче дзеркало; 3 – модулятор; 4 – розподільчий фільтр; 5,6 – ППП (піроприймальний пристрій); 7 – дзеркало; 8 – об'єктив візування; 9 – матове скло оптичного візира; 10 – плата підсилювача нормуючого; 11 – плата АЦП; 12 – плата мікроЕОМ; 13 – плата живлення; 14 – панель індикації та керування; 15 – акумуляторна батарея)

З виходу ППП електричний сигнал подається на плату підсилювача нормуючого (10), а після підсилення – на плату аналого-цифрового перетворювача (АЦП) (11). З виходу АЦП сигнали у цифровому коді подаються на плату мікро-ЕОМ (12). Після чого мікро-ЕОМ здійснює обробку сигналів згідно з програмою і визначає температуру досліджуваного об'єкта. Результат розрахунку виводиться на цифровий індикатор (дисплей), що встановлений на панелі індикації та керування (14). Крім того, результат вимірювання виводиться в аналоговій формі у вигляді струму від 4 до 20 мА на роз'єднувач, розташований на панелі об'єктива приладу. В приладі реалізовано канал передачі результатів вимірювання в цифровій формі в стандарті RS-232 (RS-485), що забезпечує можливість

під'єднання приладу до персонального комп'ютера або іншого приймача інформації.

Плата живлення (13) призначена для перетворення вхідної напруги живлення, яка подається від акумуляторної батареї (15) або зовнішнього джерела живлення, в низку напруг, які необхідні для функціонування приладу. На платі живлення розміщений зарядний пристрій, який призначений для зарядження батарей акумуляторів. В нижній частині приладу розташований батарейний відсік для розміщення батареї акумуляторів та кріпиться рукоятка.

Розташування елементів на панелі об'єктива наведено на рисунку 6. На панелі об'єктива розміщені семиконтактний роз'єднувач PC7 для виведення сигналів по каналу RS-232 (RS-485), для підключення персональної ЕОМ або іншого приймача інформації та для виведення сигналів в аналоговій формі (струменевий вихід 4-20 мА), роз'єднувач для підключення зовнішнього джерела живлення, вимикач живлення приладу та лазер.

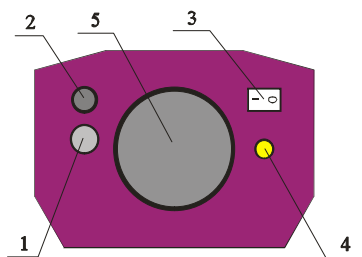


Рис. 6 – Панель об'єктива

(1 – роз'єднувач для виведення сигналів по інтерфейсу та токового виходу; 2 – роз'єднувач для підключення зовнішнього джерела живлення; 3 – вмикач живлення приладу; 4 – лазер; 5 – об'єктив)

Отже, тепер можемо перейти до побудови функціональної схеми щодо контролю та управління температурним полем технологічного процесу екструзії алюмінієвих профілів (рис. 7).

На рисунку 7 наведено запропоновану структурну схему щодо управління температурним полем технологічного процесу екструзії алюмінієвих профілів. Заготовка 2, якій, використовуючи індукційну систему нагріву 1, надають заданої технологічними вимогами температуру, а потім з допомогою приводу подачі заготовки, направляють в гніздо екструдера 4. В екструдері тилова частина оброблюваного матеріалу піддається векторному лінійному навантаженню через поршень гідралічного пресу 3 і таким чином направляється до матричного інструменту 5. Інша назва – фільера. Коли заготовка проходить через матрицю, то вона отримує необхідну нам форму алюмінієвого профілю. Саме на виході ми й пропонуємо перший етап контролю температури об'єкту з допомогою пірометра спектрального відношення ДПР-1 6. Якщо температура має відхилення від заданої

технологічними умовами процесу екструзії алюмінію, то через АСУ (Автоматичну Систему Управління) 7 подається відповідний інформативний сигнал до системи індукційного нагріву про збільшення чи зменшення напруги, яка регулює температуру заготовки. Як наслідок, ми маємо змогу зменшити відсоток браку, мінімізувавши на кінцевому етапі кількість неякісної продукції, та встановити чітке керування системою нагрівання, що в свою чергу допоможе регулювати витрати енергії, необхідної для індукційних нагрівачів, та встановлювати необхідну швидкість переміщення робочої гілки конвеєру.

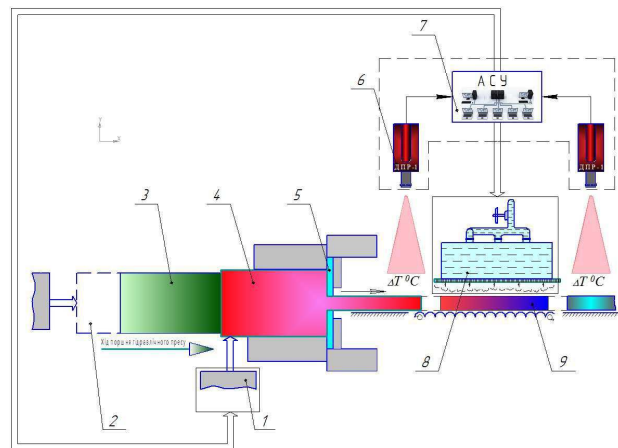


Рис. 7 – Функціональна схема щодо управління температурним полем технологічного процесу екструзії алюмінієвих профілів

(1 – привід подачі заготовки з системою індукційного нагріву; 2 – заготовка; 3 – поршень гідралічного пресу; 4 – гніздо екструдера; 5 – матричний інструмент (фільера); 6 – пірометра двухспектрального відношення ДПР-1; 7 – АСУ (автоматична система управління температурним полем); 8 – система охолодження виробу; 9 – робоча гілка конвеєру)

Другий етап контролю температури пропонуємо після того, як продукція пройде процес охолодження, який передбачений вимогами технологічного процесу екструзії алюмінію. Цей етап є важливим з позиції контролю якості та міцності профілів, які виготовляються, і потім використовуються за призначенням.

Такий комплекс інновацій призначений значно зменшити кількість неякісної продукції, а також сприяти енергоефективності, що дозволить знизити собівартість продукції за рахунок оптимізації використання затрат на нагрів.

Висновки

При використанні контрольно-вимірювального комплексу, де в якості вимірювача температури використаний пірометр ДПР-1 виключається фактор перегріву металу, а відповідно зменшується випуск неякісної продукції і виникає економія електроенергії. В комплексі інформація про

температуру плавки з пірометра передається на комп'ютер і на моніторі відображається в цифровому вигляді, що дає можливість в будь-який час переглянути закінчені процеси екструзії алюмінію.

Також, що дуже важливо, контрольно-вимірювальний комплекс надає дані температури згідно яких можливо керувати швидкістю руху конвеєра та потужністю системи індукційного нагріву, що дозволяє збільшувати об'єми готової продукції при оптимізованих затратах на електроенергію.

Автори висловлюють вдячність Державному спеціальному конструкторсько-технологічному бюро оптичного приладобудування з досвідним виробництвом Інституту Фізики Національної Академії Наук України за технічну та експериментальну підтримку роботи.

Список літератури

- 1 **Ткаченко, А. М.** Основні тенденції розвитку алюмінієвої промисловості на сучасному етапі / **А. М. Ткаченко, Ю. Ю. Ястребова** // *Економіка промисловості*. – 2004 – № 5. – С. 33 - 38.
- 2 **Поскачей, А. А.** Оптико-електронные системы измерения температуры / **А. А. Поскачей, Е. П. Чубаров** // *М.: Энергоатомиздат*. – 1988. – 340 с.
- 3 **Мирошников, М. М.** Теоретические основы оптико-электронных приборов / **М. М. Мирошников** // *Л.: Машиностроение* – 1983. – 360 с.
- 4 **Гордов, А. Н.** Основы пирометрии / **А. Н. Гордов** // *М.: Металлургия*. – 1971. – 240 с.
- 5 **Олейник, Б. И.** Приборы и методы температурных измерений / **Б. И. Олейник, С. И. Лаздина, В. П. Лаздин, О. М. Жагулло** // *М.: Изд-во стандартов*. – 1987. – 440 с.
- 6 **Скорик, Б. И.** К вопросу применения бесконтактных методов измерения температуры нагретых тел / **Б. И. Скорик, А. В. Гейко** // *Системы обработки информации*. – 2007. – №9. – С. 129-132
- 7 **Фрунзе, А.** Пирометры спектрального отношения: преимущества, недостатки и пути их устранения / **А. Фрунзе** // *Фотоника*. – №4. – 2009. – С. 32-37
- 8 **Галунин, С. А.** Исследование методов управления температурным полем в системах нагрева алюминия перед прессованием / **С. А. Галунин, А. Н. Никаноров, А. А. Муратов, Ю. И. Блинов, А. С. Орлов** // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»* – 2012. – С. 87-93
- 9 Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / За ред. **В. С. Білецького**. — *Донецьк: Донбас*. – 2004.
- 10 **Saha, P. K.** Aluminum extrusion technology / **P. K. Saha** // *Asm International* – 2000.
- 11 **Kleiner, M.** Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming / **M. Kleiner, M. Geiger, A. Klaus** // *Cirp Annals - Manufacturing technology*. – 2003 – №52(2). – P. 521-542.
- 12 **Бундза, Б. П., Єлізаров, О. С.** Оптичний пірометр №2196306 опуб. 10.01.2003 Патент РФ заявка 2000119033/28 від 10.07.2000
- 13 **Gaussorgues, G.** *La Thermographie Infrarouge* / **G. Gaussorgues** // *Principes-technologie - Application*. Lavoisier – 1988. – 419 p.
- 14 **Савельев, И. В.** Курс общей физики, том III. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных

частиц / **И. В. Савельев** // *М., Изд., «Наука». Глав. ред. физ.-мат. лит* 1973.

- 15 **Петренко, В. А.** Пирометрический комплекс с системой команд i-7000 / **В. А. Петренко, А. М. Цубин, Л. Б. Ковальчук** // ГНПП "РИУС" КИА, г. Киев. – 2002. – С. 372-376.
- 16 **Runde, M.** Induction Heating of Aluminium Billets using Superconducting Coil / **M. Runde, N. Magnusson** // *PHYSIC*. – 2002. – P. 133-134.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Tkachenko, A. M.** Major trends in the aluminum industry today. *Industrial Economy*, 2004, **5**, 33 - 38.
- 2 **Poskachey, A. A., Chubarov E.P.** Optoelectronic measurement of temperature. – Moscow: Energoatomisdat, 1988, 340 p.
- 3 **Miroshnikov, M. M.** Theoretical Foundations of optoelectronic devices. *Mechanical engineering* – Leningrad, 1983, 360 p.
- 4 **Gordov, A. N.** Fundamentals of pyrometry. Moscow: Metallurgy, 1971, 240 p.
- 5 **Olejnik, B. I., Lazdina, S. I., Lazdin, V. P., Zhagullo, O.M.** Devices and methods of temperature measurement - Moscow: Publishing standards, 1987, 440 p.
- 6 **Skorik, B. I., Geiko, A. V.** On the question of the use of contactless methods of measuring the temperature of heated bodies. *Information processing systems*, 2007, **9**, 129-132.
- 7 **Frunze, A.** Pyrometers spectral ratio: advantages, disadvantages, and how to overcome them. *Photonics*, 2009, **4**, 32-37.
- 8 **Galunin, S., Nikanorov, A., Muratov, A., Blinov, Y., Orlov, A.** The study of management practices in the field of thermal heating systems prior to compression of aluminum. *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*, 2012, 87-93.
- 9 Small mining Encyclopedia. In 3 v. Ed. **V. Beletsky**. Donetsk: Donbas, 2004.
- 10 **Saha, P. K.** Aluminum extrusion technology. *Asm International*, 2000.
- 11 **Kleiner, M., Geiger, M., Klaus, A.** Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming. *Cirp Annals - Manufacturing technology*, 2003, **52(2)**, 521-542.
- 12 **Bundza, B. P., Yelizarov, O. S.** Optical pyrometer №2196306 published 10.01.2003 RF Patent Application 2000119033/28 from 10.07.2000
- 13 **Gaussorgues, G.** *La Thermographie Infrarouge*. Principes-technologie - Application. Lavoisier, 1988, 419p.
- 14 **Savel'yev, I. V.** Kurs obshchey fiziki, tom III. Optika, atomnaya fizika, fizika atomnogo yadra i elementarnykh chastits. *Moscow, Izd., «Наука»*, 1973.
- 15 **Petrenko, V. A., Tsubin, A. M., Koval'chuk, L. B.** Pirometricheskij kompleks s sistemoy komand i-7000. *GNPP "RIUS" KIA, Kiev*, 2002, 372-376
- 16 **Runde, M., Magnusson, N.** Induction Heating of Aluminium Billets using Superconducting Coil, *PHYSIC*, 2002, 133-134.

Надійшла (received) 15.09.2015