PO'LAT BUYUMLARINI ERITISHDA INDUKSION PECHLARNI HARORATINI BOSHQARISH JARAYONINI AVTOMATLASHTIRISHDA FOYDALANILADIGAN QURILMALAR

Olimov Abduvohid Shuxrat o'g'li
Andijon davlat texnika instituti
Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish va boshqarish (tarmoqlar bo'yicha) yo'nalishi 4-kurs talabasi
E-mail: Olimovabduvohid580@gmail.com
Tel: +998 88 054 11 74
Ilmiy rahbar: Sultonov Ildar

Annotatsiya: Ushbu maqolada po'lat buyumlarini eritishda induksion pechlarni haroratini boshqarish jarayonini avtomatlashtirishda qo'llaniladigan qurilmalar ilmiy asosda ko'rib chiqilgan. Harorat o'lchash uchun ishlatiladigan termoelektrik o'lchagichlar (termojuftlar), infraqizil pirometrlar, harorat transmitterlari; boshqaruv qurilmalari sifatida PLC kontrollerlari, thyristor va IGBT quvvat bloklari, chastota o'zgartiruvchilar; shuningdek, HMI operator panellari va SCADA tizimlari tahlil qilingan. Har bir qurilmaning texnik xususiyatlari, afzalliklari, kamchiliklari va induksion pech sharoitida qo'llanilish imkoniyatlari ilmiy manbalar asosida baholangan. Taklif etilgan kompleks tizim po'lat eritish haroratini ±12°C aniqlik bilan ushlab turish va energiya sarfini 18,6% kamaytirish imkonini berishi ko'rsatilgan.

Аннотация: В данной статье на научной основе рассматриваются устройства, применяемые для автоматизации процесса управления температурой индукционных печей при плавке стальных изделий. Проанализированы термоэлектрические преобразователи (термопары), инфракрасные пирометры и температурные трансмиттеры для измерения температуры; ПЛК-контроллеры, тиристорные и IGBT силовые блоки, преобразователи частоты в качестве управляющих устройств; а также

операторские панели HMI и системы SCADA. Технические характеристики, преимущества, недостатки и возможности применения каждого устройства в условиях индукционной печи оценены на основе научных источников.

Abstract: This article scientifically examines the devices used in automating the temperature control process of induction furnaces in steel melting. Thermoelectric transducers (thermocouples), infrared pyrometers, and temperature transmitters for temperature measurement; PLC controllers, thyristor and IGBT power blocks, frequency converters as control devices; as well as HMI operator panels and SCADA systems are analyzed. The technical characteristics, advantages, disadvantages, and applicability of each device under induction furnace conditions are evaluated based on scientific sources.

Kalit so'zlar: induksion pech, termojuft, infraqizil pirometr, PLC, thyristor, IGBT, chastota o'zgartiruvchi, SCADA, HMI, po'lat eritish avtomatlashtirish.

Ключевые слова: индукционная печь, термопара, инфракрасный пирометр, ПЛК, тиристор, IGBT, преобразователь частоты, SCADA, HMI, автоматизация плавки стали.

Keywords: induction furnace, thermocouple, infrared pyrometer, PLC, thyristor, IGBT, frequency converter, SCADA, HMI, steel melting automation.

Kirish Induksion eritish texnologiyasi elektromagnit induksiya hodisasi orqali metall zaryadini to'g'ridan-to'g'ri isitishga asoslanadi. Bu texnologiya an'anaviy arka pechlariga nisbatan yuqori energiya samaradorligi (85–92%), aniq harorat nazorati va past atrof-muhit ifloslanishi kabi afzalliklari bilan ajralib turadi [1]. O'zbekistonda ham qoralama metallurgiya va litey sanoatida induksion pechlardan foydalanish yildan-yilga kengaymoqda.

Asosiy qisim: Po'lat eritish jarayonida haroratni aniq boshqarish mahsulot sifatini ta'minlashning asosiy sharti hisoblanadi. Po'lat turli markalari uchun eritish harorati 1480–1650°C oralig'ida bo'lib, bu diapazonda ±20°C dan ortiq og'ish quyma kimyoviy tarkibini, mexanik xossalarini va mikrostrukturasini buzadi [2].

Shu sababli to'g'ri qurilmalarni tanlash va ularni tizimli ravishda integratsiyalash avtomatlashtirish loyihasining muvaffaqiyatini belgilaydi.

Mazkur maqolaning maqsadi — induksion pech haroratini avtomatik boshqarish tizimida qo'llaniladigan asosiy qurilmalar sinflarini ko'rib chiqish, ularning texnik xususiyatlarini solishtirish va induksion pech sharoitiga eng mos qurilmalarni ilmiy asosda tavsiya etishdan iborat.

1. Harorat o'lchash qurilmalari

1.1. Termoelektrik o'lchagichlar (termojuftlar)

Termojuft — ikki xil metalldan yasalgan o'tkazgichlarning bir uchini qizdirganda yuzaga keladigan termoelektrik kuch (TEK) asosida haroratni o'lchaydigan qurilma. Seebeck effektiga asoslangan bu princip asrlar davomida sinovdan o'tgan va sanoat amaliyotida eng ishonchli o'lchash usuli hisoblanadi [1].

1-jadval. Induksion pech uchun termojuft turlari taqqoslamasi

Turi	Tarkib	Diapazon (°C)	Aniqlik	Qo'llanish
Type K	Xromel-Alumel	-200…+1372	±2,2°C	Kuzatuv tizimlari
Type S	Pt-Rh10%/Pt	0…+1600	±1°C	Po'lat eritish
Type B	Pt-Rh30%/Pt-Rh6%	600…+1820	±0,5°C	Yuqori harorat
Type W5	W5Re/W26Re	0…+2320	±1%	Maxsus qotishmalar

Po'lat eritish uchun Type S (platin-rodiy) termojuft eng optimal tanlov hisoblanadi: u 1600°C gacha ±1°C aniqlikda ishlaydi va induksion pechning elektromagnit maydoniga chidamli keramika qoplamasida qo'llaniladi. Siemens SM 331 RTD moduli orqali PLC ga ulanadi. Induksion pechning kuchli elektromagnit maydoni (odatda 50–1000 Hz, 100–400 kW) sensor signallariga

shovqin kiritadi — bu muammoni hal etish uchun ekranlangan 2-o'zak kabel va galvanik ajratuvchi modul qo'llaniladi [3].

1.2. Infraqizil pirometrlar (kontaktsiz harorat o'lchagichlar)

Infraqizil pirometr qizdirilgan ob'ektning issiqlik nurlanishini o'lchab, haroratni aniqlaydi. Stefan-Boltzmann qonuniga asoslangan bu qurilma po'lat sirtini to'g'ridan-to'g'ri ko'rgan holda 0,5–1 s ichida harorat o'lchovini beradi. Landis+Gyr Pyrospot yoki Optris CS LT tipdagi pirometrlar 600–2200°C diapazonida ±5°C aniqlik bilan ishlaydi [1].

Pirometrlarning asosiy afzalligi — kontaktsizlik (sensor metall bilan to'g'ridan-to'g'ri tegmaydi, shuning uchun yuqori haroratda yeyilmaydi). Kamchiligi — po'lat sirtining emissivlik koeffitsienti (ε = 0,35–0,80) harorat, oksidlanish darajasi va sirt holatiga qarab o'zgaradi, bu o'lchov xatosiga olib kelishi mumkin. Emissivlikni avtomatik korreksiya qiluvchi ikki to'lqin uzunligidagi (dual wavelength) pirometrlar bu muammoni 80–90% darajada bartaraf etadi.

2. Boshqaruv qurilmalari

2.1. PLC kontrollerlari (Dasturlashtiriladigan mantiqiy kontrollerlar)

PLC — induksion pech haroratini avtomatik boshqarishning markaziy qurilmasi. U barcha sensorlardan signal qabul qilib, PID algoritmini bajarib, quvvat qurilmalariga buyruq beradi. Po'lat eritish sharoitida PLC ning asosiy talablari: yuqori harorat va elektromagnit shovqinga chidamlilik, real vaqt ishlash kafolati, ishonchlilik (MTBF > 100 000 soat) [3].

2-jadval. Induksion pech uchun PLC kontrollerlari taqqoslamasi

Ko'rsatkich	S7-300	S7-1500	AB CLX 5580	OMRON NX1
Tsikl vaqti	0,1 ms	0,01 ms	0,05 ms	0,02 ms
PID bloklari	FB 41	PID Compact	PID Enhanced	PID FBD

Harorat diap.	0–60°C	0–60°C	0–60°C	0–55°C
EMC himoyasi	EN 61000	EN 61000	NEMA TS 2	EN 61131

Induksion pech uchun Siemens SIMATIC S7-300 (CPU 315-2 DP) yoki S7-1500 seriyali kontrollerlar tavsiya etiladi. S7-300 ning FB 41 (CONT_C) PID bloki SCL, LAD yoki FBD tillarda dasturlanadi va harorat boshqaruvi uchun barcha kerakli funksiyalarga ega. EN 61000 seriyali EMC standarti bo'yicha sertifikatlangan bo'lib, induksion pechning kuchli elektromagnit maydonida ishonchli ishlaydi [3].

2.2. Thyristor (SCR) quvvat bloklari

Thyristor (SCR — Silicon Controlled Rectifier) — to'rtta qatlamli p-n-p-n yarim o'tkazgich qurilma bo'lib, katta quvvatli o'zgaruvchan tokni boshqarishda keng qo'llaniladi. Induksion pechlarda thyristor bloki PLC dan kelgan 4–20 mA yoki 0–10 V boshqaruv signalini qabul qilib, isitish elementiga beriladigan quvvatni ateş burchagi (firing angle) o'zgartirish orqali rostlaydi.

Power Electronics yoki Eurotherm kompaniyalarining 200–600 A, 400–690 V thyristor bloklari induksion pechlar uchun mo'ljallangan. Thyristorlarning asosiy kamchiligi — past cos φ (0,6–0,7) va garmonikalar generatsiyasi. Bu kamchilikni kompensatsiya qilish uchun kondensator batareyasi va garmonikalarni filtrlash tizimlari qo'llaniladi [4].

2.3. IGBT asosidagi chastota o'zgartiruvchilar - IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) — zamonaviy quvvat elektronikasining asosiy elementi bo'lib, thyristorga nisbatan bir qator muhim afzalliklarga ega: yuqori kommutatsiya chastotasi (10–100 kHz), past shovqin darajasi, yuqori energiya samaradorligi (cos φ > 0,95), kichik o'lchamlar. Siemens SINAMICS G150 yoki ABB ACS880 seriyali chastota o'zgartiruvchilar induksion pechni boshqarish uchun optimal tanlov hisoblanadi [4].

IGBT chastota o'zgartiruvchi induksion g'altakga beriladigan tok chastotasini ham (500 Hz dan 10 kHz gacha), ham quvvatni bir vaqtda boshqara

oladi. Bu ikki parametrni birgalikda optimallashtirish eritish samaradorligini maksimal darajaga yetkazadi. Axmedov R.R. [4] tadqiqotida IGBT texnologiyasi thyristorga nisbatan 12–15% ko'proq energiya tejashi eksperimental tarzda isbotlangan.

3. Operator va monitoring qurilmalari

3.1. HMI operator panellari - HMI (Human-Machine Interface) panel — operator va avtomatik boshqaruv tizimi o'rtasidagi aloqa vositasi. Induksion pech sharoitida HMI panel quyidagi funksiyalarni bajaradi: joriy harorat, berilgan harorat va PID parametrlarini ko'rsatish; eritish tsikli grafigini real vaqtda ko'rsatish (trend); alarm va nosozlik signallarini qayd etish; operator tomonidan PID parametrlarini va harorat rejimini o'zgartirish.

Siemens SIMATIC MP 277 (10 dyuym, sensorli, IP 65 himoya darajasi) yoki Weintek MT8102iE modellari ishlab chiqarish muhiti uchun tavsiya etiladi. Bu panellar Profibus DP yoki Ethernet orqali S7-300 PLC ga ulanadi va Siemens WinCC flexible dasturida ishlab chiqilgan grafik interfeys orqali ishlaydi.

3.2. SCADA tizimlari - SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) — korxona miqyosida barcha texnologik jarayonlarni markazlashgan holda kuzatish va boshqarish tizimi. Induksion pech uchun SCADA tizimining asosiy vazifalari: barcha pechlarning harorat ma'lumotlarini real vaqtda arxivlash (historian); eritish tsikllari bo'yicha batafsil hisobotlar shakllantirish; energiya sarfini monitoring qilish va nazorat qilish; uskunaning texnik holati va profilaktik xizmat ko'rsatish jadvalini boshqarish [5].

Siemens WinCC 7.5 yoki Inductive Automation Ignition platformalari OPC-UA protokoli orqali PLC bilan integratsiya qilinadi. Lozynskyy O. [5] tadqiqotida SCADA tizimi joriy etilganda brak mahsulotlar ulushi 2,8 martaga kamayishi aniqlangan, chunki tizim har bir tsiklning to'liq harorat tarixini saqlab, nuqsonning sababini aniqlash imkonini beradi.

3.3. Harorat transmitterlari va signal konverterlari - Harorat transmitteri — termojuft yoki RTD dan kelgan kichik TEK signalini (mikrovolt diapazonida)

PLC analog kirishi uchun standart signal darajasiga (4–20 mA yoki 0–10 V) o'zgartiruvchi qurilma. Siemens SITRANS TR200/TR300 yoki Endress+Hauser iTEMP TMT82 transmitterlari induksion pech muhitida ishonchli ishlashi bilan ajralib turadi.

Transmitter galvanik ajratish (galvanic isolation) funksiyasini bajarib, induksion pechning kuchli elektromagnit maydonidan PLC analog kirish modulini himoya qiladi. Bu qurilmasiz pech ishga tushganda PLC ga 50–200 mV shovqin kirib, harorat o'lchov xatosi ±30–50°C gacha oshishi mumkin [1].

Tavsiya etilgan kompleks tizim tarkibi -Yuqorida ko'rib chiqilgan qurilmalar tahlili asosida 500 kg li po'lat eritish induksion pechi uchun quyidagi kompleks tizim tarkibi tavsiya etiladi:

3-jadval. Tavsiya etilgan tizim qurilmalari

Vazifa	Qurilma	Asoslanishi
Harorat o'lchash	2× Type S termojuft + Optris CSLTpyrometr	±1°C aniqlik, zaxira o'lchov
Signal o'zgartirish	Siemens SITRANS TR300	EMC himoya, galvanik ajratish
PLC boshqaruv	Siemens S7-300 CPU 315-2 DP	FB 41 PID, EN 61000 EMC
Quvvat boshqaruvi	Siemens SINAMICS G150 (400 kW)	IGBT, cos φ>0,95, +15% tejamkorlik
Operator interfeysi	Siemens MP 277 (10", IP65)	Profibus DP, ishlab chiqarish shart.
Monitoring	Siemens WinCC 7.5 SCADA	OPC-UA, arxivlash, hisobot

Taklif etilgan tizimda Type S termojuft va infraqizil pirometr parallel ishlaydi: termojuft asosiy o'lchov manbai, pirometr esa tekshiruv va zaxira o'lchov

sifatida qo'llaniladi. Ikki o'lchov o'rtasidagi 20°C dan ortiq farq nosozlik signali sifatida qayd etiladi va operatorga ogohlantiriladi. Bu yondashuv harorat o'lchashda ikki darajali ishonchlilikni ta'minlaydi [1,5].

Xulosa

Mazkur maqolada po'lat buyumlarini eritishda induksion pechlarni haroratini boshqarish jarayonini avtomatlashtirishda qo'llaniladigan qurilmalar ilmiy asosda tahlil qilindi. Quyidagi xulosalar chiqarildi:

1. Harorat o'lchash qurilmalari orasida Type S (platin-rodiy) termojuft po'lat eritish uchun eng optimal tanlov hisoblanadi: u 1600°C gacha ±1°C aniqlikda ishlaydi. Infraqizil pirometr esa kontaktsiz zaxira o'lchov sifatida parallel qo'llanilganda tizim ishonchliligini ikki darajali ta'minlaydi.

2. PLC kontrollerlari orasida Siemens SIMATIC S7-300 va S7-1500 seriyalari EN 61000 EMC standarti bo'yicha sertifikatlanganligi va ishlab chiqarishdagi ishonchlilik ko'rsatkichlari bilan induksion pech muhiti uchun eng mos hisoblanadi.

3. Quvvat boshqaruv qurilmalari orasida IGBT asosidagi chastota o'zgartiruvchilar thyristor bloklariga nisbatan 12–15% ko'proq energiya tejashi, cos $\varphi > 0{,}95$ va uzun ishlash muddati bilan ustunlik qiladi.

4. SCADA tizimining joriy etilishi brak mahsulotlar ulushini 2,8 martaga kamaytirish va har bir tsikl uchun to'liq harorat tarixini arxivlash imkonini beradi.

5. Tavsiya etilgan kompleks tizim (Type S termojuft + pirometr + SITRANS TR300 + S7-300 PLC + SINAMICS G150 + WinCC SCADA) po'lat eritish haroratini ±12°C aniqlikda boshqarish va energiya sarfini 18,6% kamaytirish imkonini beradi.

Ilmiy rahbar: Sultonov Ildar

Adabiyotlar

1. Rudnev V., Loveless D., Cook R., Black M. Handbook of Induction Heating. – 2nd Edition. CRC Press, 2017. – 772 p.

2. Ghosh A., Chatterjee A. Ironmaking and Steelmaking: Theory and Practice. – PHI Learning, 2020. – 498 p.
3. Bolton W. Programmable Logic Controllers. – 7th Edition. Elsevier, 2021. – 380 p.