

**QUYMALAR SIFATINI OSHIRISHDA VAKUUMLI QUYMA QOLIPLASH
JARAYONINI AVTOMATLASHTIRISH**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ФОРМОВАНИЯ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВАКУУМНОГО ФОРМОВАНИЯ
СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ
КАЧЕСТВА**

Kenjaboyev Shukurjon Sharipovich

Namangan davlat texnika universiteti, professor

tel: +998 90 214 50 70

Saidmaxamadov Nosir Mo'ysinaliyevich

Namangan davlat texnika universiteti, dotsent

e-mail: n198718a@gmail.com, tel: +998 94 607 35 05

Xusanov Doniyorbek Abdujalil o'g'li

Namangan davlat texnika universiteti, tayanch doktorant

e-mail: doniyorbekxusanov77@gmail.com, tel: +998 99 399 11 23

Annotatsiya: *Ushbu maqolada murakkab shaklli po'lat quymalar ishlab chiqarish jarayonida vakuumli qoliplash texnologiyasining avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimi asosida takomillashtirilishi yoritilgan. Quyish jarayonida aniqlik, gazsizlik va mexanik mustahkamlikni oshirishda avtomatlashtirishning o'rni, qoliplar harorati, bosim, va quyish tezligining raqamli monitoringi asosida sifat ko'rsatkichlarini optimallashtirish yo'llari ko'rib chiqilgan. Shuningdek, ishlab chiqarishdagi inson omilining kamayishi hamda texnologik ishonchlilikning ortishi ta'minlanmoqda.*

Kalit so'zlar: *vakuum quyish, avtomatlashtirish, po'lat quymalar, qoliplash, raqamli monitoring, sun'iy intellekt, sifat nazorati*

Аннотация: *В данной статье рассмотрено совершенствование технологии вакуумного формования в процессе производства стальных отливок сложной формы на основе автоматизированной системы управления. Освещается роль автоматизации в повышении точности литья, газоплотности и механической прочности отливок. Также рассматриваются пути оптимизации показателей качества за счёт цифрового мониторинга температуры формы, давления и скорости заливки. Обеспечивается снижение влияния человеческого фактора и повышение технологической надёжности в производственном процессе.*

Ключевые слова: *вакуумное литьё, автоматизация, стальные отливки, формование, цифровой мониторинг, искусственный интеллект, контроль качества.*

Abstract: *This article discusses the improvement of vacuum mold casting technology in the production of complex-shaped steel castings based on an automated control system. The role of automation in enhancing casting accuracy, gas tightness, and mechanical strength is examined. The study explores ways to optimize quality indicators through digital monitoring of mold temperature, pressure, and pouring speed. Additionally, the reduction of human involvement and the increase in technological reliability in the production process are ensured.*

Keywords: *vacuum casting, automation, steel castings, molding, digital monitoring, artificial intelligence, quality control.*

Maqsad: Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — po'latdan tayyorlanadigan murakkab shaklli quymalarni ishlab chiqarishda vakuumli qoliplash texnologiyasining sifat ko'rsatkichlarini oshirish maqsadida uni avtomatlashtirish yo'llarini ishlab chiqishdan iborat. Bunda quyish jarayonining asosiy texnologik parametrlarini (harorat, bosim, quyish tezligi, qolip to'ldirish vaqti) aniq nazorat qilish orqali quymalar tarkibidagi gazsizlik darajasini kamaytirish, mikrostrukturaviy bir xillikni ta'minlash, texnologik barqarorlikka erishish va inson omilini minimallashtirish ko'zda tutilgan.

Usullar: Tahlil davomida quyma texnologiyasi bo'yicha mavjud ilmiy manbalar o'rganildi, amaliy kuzatuvlar va ilg'or xorijiy tajriba asosida vakuum qoliplari bilan bog'liq muammolar baholandi. Takomillashtirish yo'llari sifatida yangi materiallar, avtomatlashtirish asosida jarayonlarni boshqarish texnologiyalari taklif qilindi.

KIRISH

Metall quyish sanoatida quymalarning sifati ularning strukturaviy yaxlitligi, gazsizlik darajasi va geometrik aniqligiga bog'liq. Ayniqsa, murakkab shaklli po'lat quymalarni vakuum muhitida olishda qoliplash jarayonining barqarorligi va takrorlanuvchanligi muhim ahamiyatga ega. An'anaviy usullarda inson ishtirokining yuqoriligi, parametrlar bo'yicha beqarorlik va operatsion xatolar sifatga salbiy ta'sir qiladi. Shu sababli vakuumli qoliplash jarayonini avtomatlashtirish bugungi kunda dolzarb masala hisoblanadi.

TADQIQOT USULLARI

Ushbu tadqiqotda po'latdan murakkab shaklli quymalarni vakuum qoliplash usulida olishda avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimining quymalarning sifatiga ta'sirini aniqlash uchun kompleks ilmiy-uslubiy yondashuv qo'llanildi. Tadqiqot quyidagi asosiy metodik yo'nalishlar asosida amalga oshirildi:

1. Eksperimental qurilmani yaratish va parametrlarni sozlash

Tajriba o'tkazish uchun vakuum kamerali quyish pechi yig'ildi. Qurilma quyidagicha jihozlandi:

Vakuum pompasi: $P < 10^{-1}$ mbar

PID-regulyatorli elektr isitkich (qizdirish harorati: $T = 1600 \pm CT$)

Harorat, bosim, oqim tezligi bo'yicha raqamli sensorlar (DS18B20, MPX5700)

PLC moduli: Siemens S7-1200

Sensorlar chiqishlari 24-bit ADC orqali raqamlashtirildi.

2. Avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini loyihalash

Vakuum qoliplash tizimi uchun PID (Proportional-Integral-Derivative) asosidagi avtomatik boshqaruv algoritmi ishlab chiqildi. Quyidagi umumiy boshqaruv tenglamasi asosida harorat va bosimni real vaqt rejimida nazorat qilish amalga oshirildi:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \cdot dtde(t)$$

Bu yerda:

$$e(t) = T_{set} - T_{measured} \text{ — haroratdagi xatolik}$$

K_p, K_i, K_d — PID sozlama koeffitsiyentlari

Harorat va bosimning nazorat qilinadigan chegaralari eksperiment orqali belgilandi:

$$1570^\circ\text{C} < T < 1620^\circ\text{C}$$

$$0.05\text{mbar} < P < 0.12\text{mbar}$$

3. Model va simulyatsiya

Quyish jarayonining matematik modellashtirilishi uchun SolidCast va MATLAB/Simulink dasturlari qo'llanildi. Metallning qolipga to'kilish tezligi vvv, qolip harorati T_m , va to'ldirish vaqti t_{ft} quyidagi munosabatlar orqali modellashtirildi:

Bernulli tenglamasi asosida oqim tezligi:

$$v = 2g(h - h_{loss})$$

Issiqlik o'tkazish tenglamasi (Fourier):

$$\partial t / \partial T = \alpha \nabla^2 T$$

bu yerda α — issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti.

4. Metallografik va fizik tahlillar

Quymalarning sifatini baholash uchun quyidagi sinov usullari qo'llanildi:

Optik metallografiya: mikrostrukturaviy fazalar nisbatlari (ferrit, pearlit) o'lchandi.

SEM (Scanning Electron Microscopy) yordamida inkluziyalar va gaz pufakchalari ko'rinishlari tahlil qilindi.

XRD (X-ray diffraction) bilan strukturaviy fazalar aniqligi tasdiqlandi.

5. Mexanik sinovlar

Quymalarning mexanik xossalari quyidagi standart usullarda sinovdan o'tkazildi:

Tortish kuchi sinovi (GOST 1497-84):

$$\sigma = F/A$$

bu yerda F — uzilish kuchi, A — namunadagi kesim yuzi.

Qattqlik (HB) — Brinell usuli bo'yicha:

$$HB = 2F / (\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}) - 1)$$

6. Statistik va grafik tahlil

Olingan eksperimental natijalar OriginPro 2023 va Excel dasturlarida qayta ishlanib, dispersiya tahlili (ANOVA), standart og'ish (σ) va ishonchlilik oraliqlari hisoblandi.

Porozlik (gazsizlik darajasi) quyidagi formulaga asoslanib hisoblab chiqildi:

$$\text{Prel} = (\text{VporeV} / \text{total}) \cdot 100\%P$$

TADQIQOT NATIJALARI

Avtomatlashtirilgan vakuum quyish tizimi yordamida harorat 0.5% aniqlikda, bosim esa 98% barqarorlikda boshqarildi.

Qolip to'ldirish vaqtida ortiqcha vibratsiyalar va gaz pufakchalari kamaydi. Natijada porozlik 20–25% ga qisqardi.

Sifat ko'rsatkichlari:

Gazsizlik darajasi: 15% dan <3% gacha kamaydi.

Mikroyoriqlar: oldingi usulga nisbatan 2 baravar kamaydi.

Mustahkamlik: 8–12% ga oshdi.

Ishlab chiqarish samaradorligi 18% ga oshdi, inson xatolari esa 40% ga kamaydi.

XULOSA

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, vakuumli quyma qoliplash jarayonini avtomatlashtirish yuqori sifatli quymalarni ishlab chiqarishga zamin yaratadi. Parametrlarni aniq nazorat qilish orqali strukturaviy nuqsonlarning oldi olinadi va quymalar barqaror xossalarga ega bo'ladi. Avtomatlashtirish sanoatni raqamlashtirishga olib boruvchi asosiy omil bo'lib, inson mehnatiga bo'lgan ehtiyojni kamaytiradi va ishlab chiqarish samaradorligini oshiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Patel, R., & Kumar, M. (2023). Recent advances in vacuum casting techniques for steel foundries. *International Journal of Materials Processing*, 46(1), 77-89.

2. Ubaydullayev, M., and D. Xusanov. "MODERN METHODS OF USING ALLOYS WITH SPECIAL PROPERTIES IN MECHANICAL ENGINEERING." ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI BEKE 53-5 (2024).

3. Саидмахамадов Н., Хайдаров У., Эгамбердиев Б. Улучшение подготовки технологий методом специального сливания //Экономика и социум. – 2019. – №. 4. – С. 651 – 660.

4. Turakhodjaev, N., Saidmakhamadov, N., Turakhujaeva, S., Akramov, M., Turakhujaeva, A., & Turakhodjaeva, F. (2020). Effect of metal crystallation period on product quality. *Theoretical & Applied Science*, (11), 23 – 31.