

УО'К: 621.791:669.14

 10.70769/3030-3214.SRT.3.4.2025.14

**MATERIALLARNI PAYVANDLASH JARAYONIDA OLDINDAN QIZDIRISH
(PREHEAT) VA PAYVANDDAN KEYINGI ISSIQLIK BILAN ISHLOV
(PWHT) BERISH USULLARINING ILMY ASOSLARI VA AMALIY**

AHAMİYATI



**Azimov Salohiddin
Turamuradovich**
“O’zbekiston GTL” MChJ
nazoratchi muhandisi, t.f.f.d.,
Qarshi, O’zbekiston
E-mail:
salokhiddin.azimov1989@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-9122-8463



**Raximov G'anisher
Baxtiyorovich**
Qarshi davlat texnika universiteti,
dotsenti, t.f.f.d.,
Qarshi, O’zbekiston
E-mail:
ganisher.raximov1@inbox.ru
ORCID ID: 0009-0004-1970-1541



**Buronov Firdavsiy
Eshburiyevich**
Qarshi davlat texnika universiteti,
dotsenti, t.f.f.d.,
Qarshi, O’zbekiston
E-mail:
firdavsiy.buronov@mail.ru

Annotatsiya. Materiallarni payvandlash jarayonida oldindan qizdirish (preheat) va payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish (PWHT – Post Weld Heat Treatment) texnologiyalarining ilmiy asoslari hamda amaliy ahamiyati tahlil qilingan. Oldindan qizdirish jarayonining asosiy vazifasi – issiqlik ta’siridagi zonada nojo’ya strukturalarning hosil bo’lishini cheklash, vodorod yoriqlarining oldini olish va termik stresslarni kamaytirishdan iboratligi asoslab berilgan. Payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish esa payvand chokida yuzaga keladigan ichki kuchlanishlarni bartaraf etish, mikrostrukturani barqarorlashtirish va mexanik xossalarni yaxshilashga xizmat qilishi ko’rsatib o’tilgan. Tadqiqot natijalari shuni ko’rsatadiki, mazkur usullarni ilmiy asoslangan holda qo’llash natijasida payvand birikmalarining mustahkamligi va xizmat muddati sezilarli darajada oshadi. Shuningdek, energetika, neft-gaz, mashinasozlik va boshqa sanoat sohalarida bu usullarni qo’llashning amaliy samaradorligi yoritilgan.

Kalit so’zlar: payvandlash, preheat, PWHT, issiqlik ta’siridagi zona, mikrostrukturaviy barqarorlik, mexanik xossalalar.

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ МЕТОДОВ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВА (PREHEAT) И ТЕРМООБРАБОТКИ
ПОСЛЕ СВАРКИ (PWHT) В ПРОЦЕССЕ СВАРКИ**

**Азимов Салохиддин
Турамурадович**
Ведущий инженер ООО
«Uzbekistan GTL», доктор
философских наук, г. Карши,
Узбекистан

**Рахимов Ганишер
Бахтиёрович**
Каршинский государственный
технический университет,
доцент, доктор философских
наук, Карши, Узбекистан

**Буронов Фирдавси
Эшибуриевич**
Каршинский государственный
технический университет,
доцент, PhD.,
Карши, Узбекистан

Аннотация. Научно проанализированы основы и практическое значение технологий предварительного подогрева (preheat) и термообработки после сварки (PWHT – Post Weld Heat

Treatment) при сварке материалов. Основная задача процесса предварительного подогрева заключается в ограничении образования нежелательных структур в зоне термического влияния, предотвращении водородных трещин и снижении термических напряжений. Термообработка после сварки направлена на устранение внутренних напряжений, возникающих в сварном шве, стабилизацию микроструктуры и улучшение механических свойств. Результаты исследования показывают, что научно обоснованное применение этих методов существенно повышает прочность сварных соединений и срок их службы. Кроме того, освещена практическая эффективность применения данных методов в энергетике, нефтегазовой, машиностроительной и других отраслях промышленности.

Ключевые слова: Сварка, предварительный подогрев, термообработка после сварки, зона термического влияния (ЗТВ), микроструктурная стабильность, механические свойства.

SCIENTIFIC PRINCIPLES AND PRACTICAL SIGNIFICANCE OF PREHEATING (PREHEAT) AND POST-WELD HEAT TREATMENT (PWHT) METHODS IN THE WELDING PROCESS

Azimov Salohiddin
Turamuradovich

Leading Engineer of Uzbekistan
GTL LLC, Doctor of Philosophy,
Karshi, Uzbekistan

Rakhimov Ganisher
Bakhtiyorovich

Karshi State Technical University,
Associate Professor, Doctor of
Philosophy, Karshi, Uzbekistan

Buronov Firdavsi
Eshburiyevich

Karshi State Technical University,
docent, PhD, Karshi, Uzbekistan

Abstract. The scientific principles and practical significance of preheating (preheat) and post-weld heat treatment (PWHT – Post Weld Heat Treatment) technologies in the welding of materials have been analyzed. The primary purpose of the preheating process is to limit the formation of undesirable structures in the heat-affected zone, prevent hydrogen-induced cracking, and reduce thermal stresses. Post-weld heat treatment serves to relieve internal stresses in the weld, stabilize the microstructure, and improve mechanical properties. The research results indicate that the scientifically grounded application of these methods significantly enhances the strength and service life of welded joints. In addition, the practical effectiveness of these methods in the energy, oil and gas, mechanical engineering, and other industrial sectors has been highlighted.

Keywords: welding, preheating, post-weld heat treatment (PWHT), heat-affected zone (HAZ), microstructural stability, mechanical properties.

Kirish. Payvandlash texnologiyalari sanoatning barcha sohalarida, xususan, neft-gaz, energetika, mashinasozlik va kimyo sanoatlarida keng qo'llaniladi. Yuqori bosim ostida ishlaydigan idishlar, quvurlar va issiqlik almashinish qurilmalari uchun ishlatiladigan turli xildagi materiallarni birlashtirishda sifatli va ishonchli chok hosil qilish eng muhim talabdir. Shu boisdan payvandlash jarayonida oldindan qizdirish (preheat) va payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish (PWHT – Post Weld Heat Treatment) texnologiyalarini qo'llash alohida ahamiyat kasb etadi.

Payvandlash jarayonida oldindan qizdirishning asosiy vazifasi – sovish tezligini

pasaytirish, issiqlik ta'sirida bo'lgan zonada (ITZ) nojo'ya fazalarning hosil bo'lishini cheklash hamda sovuq yoriqlar (hydrogen cracking) xavfini kamaytirishdir.

Oldindan qizdirish natijasida vodorodning diffuziyasi tezlashib, payvand chizig'ida vodorod to'planishi kamayadi.

Austenitdan martensitga o'tish tezligi sekinlashadi va bu esa qattiq, mo'rt strukturalarning hosil bo'lishini oldini oladi.

Termal stresslar bir tekisda taqsimlanadi, natijada yoriqlanish ehtimoli keskin kamayadi.

Ilmiy jihatdan, preheat harorati materialning uglerod ekvivalenti (CE), qalinligi, kimyoiy tarkibi hamda ishlash sharoitlariga bog'liq holda

aniqlanadi.

Issiqlik bilan ishlov berish ishlarini boshlashdan oldin barcha yuzalar tozalanishi va past erish haroratiga ega bo‘lgan ifloslantiruvchi moddalar (masalan, oltingugurt, fosfor, qo‘rg‘oshin va boshqalar) dan holi bo‘lishi kerak.

Payvand birikmasi mahalliy qizdirilishi shunday amalga oshirilishi kerakki, butun zona (lenta) bir tekisda belgilangan haroratgacha qizdirilsin va elektr qarshilik usuli orqali ko‘rsatilgan vaqt davomida ushlab turilsin.

Adabiyotlar tahlili va metodlar. Kam qotishmali po‘lat asosiy materiallari, jumladan ishlab chiqarish payvand choklari, quyidagi holatlarda yetkazib berilishi kerak: normalizatsiyalangan, normalizatsiyalangan va temperlangan, tezlashtirilgan sovitish va temperlangan yoki qizdirilib so‘ndirilgan va temperlangan. Temperlash PWHT (payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish) uchun belgilangan harorat diapazonining yuqori chegarasidan kamida 10°C yuqori haroratda bajarilishi shart. Bundan tashqari, issiqlik almashinish quvurlari tavlanish (annealed) holatida yetkazib berilishi mumkin. Muqobil issiqlik bilan ishlov berish usullari Buyurtmachi (Owner) ko‘rib chiqishi va tasdiqlashi uchun taqdim etilishi lozim.

321/321H va 347/347H zanglamaydigan po‘lat komponentlari, shu jumladan ishlab chiqarish payvand choklari, 1040°C dan oshmagan haroratda eritma bilan ishlov berilishi (solution heat treatment) va $910^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ da 4 soat davomida termik barqarorlashtirish (thermal stabilization) qilinishi shart.

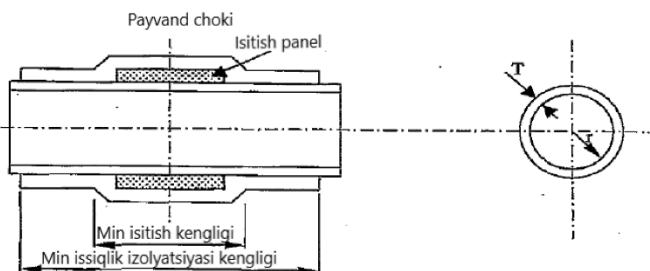
Kommunal xizmatlar (masalan: havo, azot, sovitish suvi va h.k.) uchun mo‘ljallangan trubali mahsulotlar bundan mustasno, 300-seriyali zanglamaydigan po‘latdan tayyorlangan, avtomatik payvandlash va chiziqli induksion qizdirish orqali ishlab chiqarilgan autogen payvandlangan trubali mahsulotlar qayta eritma bilan tavlanishi (resolution annealed) shart. Bu jarayon material spetsifikatsiyasida ko‘rsatilgan minimal haroratda, karbidlarning qayta erishini ta‘minlash uchun yetarli vaqt davomida amalga oshirilishi va ularning qayta cho‘kishini oldini olish uchun tezkor sovitish bilan yakunlanishi lozim.

Duplex po‘lat asosiy materiallari, shu jumladan ishlab chiqarish payvand choklari, barcha

ishlab chiqarish, issiqlik bilan berish shakl berish amaliyotlaridan so‘ng eritma bilan tavlanishi (solution annealed) shart. Material tarkibida intermetallik fazalar deyarli bo‘lmasisligi kerak (ya‘ni 1% dan kam).

Qoplamlali listlar (clad plate) va zarb qilingan qismlar qoplama jarayonidan so‘ng issiqlik bilan ishlov berilishi kerak. Issiqlik bilan ishlov berish asosiy materialning xossalari tiklashi, lekin qoplama materialining korroziyaga chidamliligini buzmasligi zarur. Agar sovuq tekislash (cold flattening) talab qilinsa, bu ish issiqlik bilan ishlov berishdan keyin amalga oshirilishi lozim, bundan boshqacha kelishuv buyurtmachi bilan bo‘lmagan taqdirda.

Qizdirish zonasining minimal kengligi payvand chokining har ikki tomonida 6t yoki 150 mm bo‘lishi kerak (qaysi biri kattaroq bo‘lsa, o’sha qiymat olinadi). Issiqlik izolyatsiyasi esa qizdirish zonasining chetidan kamida 250 mm uzoqqa cho‘zilishi lozim.



1-rasm. Isitish kengligi va nazorat (tekshiruv) kengligi bo‘yicha minimal talablar.

Flanets payvand choklari uchun flanetsning butun yuzasi — ichki va tashqi tomonlari — izolyatsiya qilinishi shart. Amaliy jihatdan imkon qadar, qizdirish zonasiga to‘g‘ri keluvchi ichki sirt ham izolyatsiya qilinishi kerak. Agar bu imkonsiz bo‘lsa, uchlari havo oqimini to‘sish va konveksiya oqimlarini kamaytirish uchun mahkam yopilishi lozim. Shuningdek, imkon qadar quvurlarning uchlari ham ichki havo oqimlarining oldini olish maqsadida muhrlanishi kerak.

Barcha ishlov berilgan sirtlar, masalan, flanets yuzalari, rezbali bolt teshiklari, rezbalar va hokazolar, issiqlik bilan ishlov jarayonida oksidlanishdan himoya qilinishi kerak. Buning uchun deoksaluminat yoki zaruratga qarab boshqa mos material bilan qoplash talab etiladi.

Qizdirish va sovitish tezliklari soatiga kamida

50°C dan kam bo‘lmasligi kerak. 315°C dan yuqori haroratlarda qizdirish tezligi quyidagidan oshmasligi shart: 5600°C/maksimal qalinlik (mm) lekin hech qachon soatiga 222°C dan yuqori bo‘lmasligi kerak.

Ushlab turish (holding) davrida maksimal harorat belgilangan minimal ushlab turish haroratidan 50°C dan ortiq bo‘lmasligi shart.

Sovitish tezligi quyidagidan oshmasligi kerak: 6875°C/maksimal qalinlik (mm) lekin hech qachon soatiga 270°C dan yuqori bo‘lmasligi kerak.

Termoparalarni joylashtirish tartibi:
 Aylana (circumferensial) uskuna payvand choklari uchun – to‘rt dona termopara (thermocouple) payvand chokining namlanish (soaking) zonasida, agar ichki yuzaga kirish mumkin bo‘lsa, ichki va tashqi yuzalar bo‘ylab teng masofada joylashtirilishi kerak.

Nozul-qobiq (nozzle-to-shell) birikmalari uchun – bitta termopara nozul devorining eng qalin qismiga, bitta termopara nozul-qobiq payvand chokiga (ichki tomondan, agar kirish mumkin bo‘lsa) va tashqi yuzasiga o‘rnatalishi kerak. Har xil qalinlikdagi qismlardan tashkil topgan elementlar uchun esa – bittasi eng qalin qismga, bittasi eng yupqa qismga va bittasi qalinlik o‘tish (transition) qismiga joylashtirilishi lozim.

Termopara joylashuvi payvand chokining markazida bo‘lishi kerak.

Quvur diametri NPS4 ga teng yoki kichik, lekin NPS2 dan katta bo‘lsa - bitta termopara soat 12 holatida (yuqori qismida) joylashtiriladi.

Quvur diametri NPS12 ga teng yoki kichik, lekin NPS4 dan katta bo‘lsa - bitta termopara soat 12 holatida (yuqori tomonda) va bitta soat 6 holatida (pastki tomonda) joylashtiriladi.

Quvur diametri NPS12 dan katta bo‘lsa - to‘rt ta termopara aylana bo‘ylab teng masofada joylashtiriladi.

Quvur diametri 1 dyuymga teng yoki undan kichik bo‘lsa (buralma – elbow va tarmoq – Tee qismlarida) - bitta termopara soat 12 holatida (yuqori qismida) joylashtiriladi.

Harorat nazorati termoparalar yordamida amalga oshirilishi va harorat doimiy ravishda harorat yozuv jadvaliga qayd etib borilishi kerak.

Oldindan qizdirish (Preheat) bo‘yicha talablar:

Preheat istalgan mos usulda amalga oshirilishi

mumkin. Agar yoqilg‘i gazi yoki moy ishlatsa, ular oltingugurtsiz bo‘lishi shart. Yoqilg‘i/havo aralashmasi neytral alangani hosil qilishi va payvand joyida hech qanday uglerod qoldirmasligi kerak;

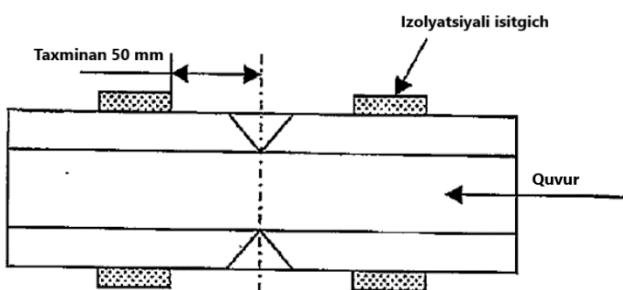
1-jadval

Oldindan qizdirish va qatlamlar oraliq‘idagi haroratlar

P-No.	Material turi	Payvand joyidagi nominal qalinlik (mm)	Minimal oldindan qizdirish harorati (°C)	Maksimal qatlamlar oraliq‘idagi harorat (°C)
1	Uglerodli po‘lat	t ≤ 13 13 < t ≤ 25 25 < t ≤ 50 t > 50	10 75 100 150	300 300 300 300
3	Uglerod-0.5Mo	t ≤ 13 13 < t ≤ 25 25 < t ≤ 50 t > 50	10 75 100 150	300 300 300 300
		Hammasi	150	300
4	1Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo	t ≤ 13 13 < t ≤ 25 t > 25	125 150 175	300 300 350
5A, 11A&B	2.25Cr-1Mo, Ni-Cr-Mo, Mn-Mo-Ni	t ≤ 13 13 < t ≤ 25	150 175	300 350
5B	5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo	t > 25	200	350
	9Cr-1Mo-Nb-V	Hammasi	200	350
5C	Enhanced 2.25Cr-1Mo, 3Cr-1Mo-V, 2.25Cr-1Mo-V,	t ≤ 13 13 < t ≤ 25 t > 25	150 175 200	300 350 350
6 & 7	400 seriyali zanglamaydigan po‘lat	Hammasi	Kod bo‘yicha	-
8	300 seriyali zanglamaydigan po‘lat	Hammasi	10	200
10H	Duplex steel	T ≤ 50 ⁽³⁾ t > 50	10 100	200 200
34-35	Cu-base alloys	Hammasi	10	200
41-45	Ni-base alloys	Hammasi	10	200

Agar payvand tayyorlangan joyning nominal qalinligi 50 mm yoki undan kam bo‘lsa, preheat harorati payvand tayyorlash chetidan 4t yoki 50 mm (qaysi biri kichik bo‘lsa) masofagacha saqlanishi kerak;

Agar payvand tayyorlangan joyning nominal qalinligi 50 mm dan katta bo‘lsa, preheat harorati payvand tayyorlash chetidan 75 mm masofagacha saqlanishi kerak;



2-rasm. Oldindan qizdirish (Preheating) uskunasining sxemasi.

2-jadval

Payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov haroratlari

P-No.	Material turi	Payvand joyidagi nominal qalinlik (mm)	Ushlab turish harorati (°C)		Ushlab turish haroratidagi vaqt (daqiqalarda)	
			Uskuna	Quvurlar / Trubalar	Har mm	Minimal
1	Uglerodli po'lat	Kod bo'yicha	593-640	593-640	2.5	60
3	C-0.5Mo, Mn-Mo, Ni-Mo	Kod bo'yicha	620-650	620-650	2.5	60
4	1Cr-0.5Mo, 1.25Cr-0.5Mo	Hammasi	680-710	704-730	2.5	60
5A	2.25Cr-1Mo	Hammasi	690-720	704-730	2.5	120
5B	5Cr-0.5Mo, 9Cr-1Mo	Hammasi	704-730	704-730	2.5	120
	9Cr-1Mo-Nb-V	Hammasi	730-760	730-760	2.5	120
5C	Enhanced 2.25Cr-1Mo 3Cr-1Mo-V	Hammasi	690-720	704-760	2.5	120
	2.25Cr-1Mo-V	Hammasi	700-730	704-760	2.5	120
6 & 7	400 seriyali zanglamaydigan po'lat	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	N/A	2.5	60
8	300 seriyali zanglamaydigan po'lat	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha	Kod bo'yicha
9A & 9B	Ni-alloy steels	Kod bo'yicha	593-620	593-620	2.5	60
11A&B	Ni-Cr-Mo, Mn-Mo-Ni	Hammasi	Kod bo'yicha	N/A	2.5	60
45	800/800H/800HT	Hammasi	885 min.	885 min.	Kod bo'yicha	90

Preheat harorati faqatgina yetarli vaqt o'tgach (har 25 mm qalinlikka 2 daqiqa asosida) issiqlik tenglashishi uchun o'lchanishi kerak, yoki muqobil ravishda preheat qo'llanilgan joyning qaramaqarshi tomonida o'lchanishi kerak;

300-seriyali zanglamaydigan po'latlar, duplex po'latlar va Ni asosidagi qotishmalarda ishlatalidigan harorat ko'rsatuvchi bo'yoq qalamchalari zararli qo'shimchalardan (masalan, oltingugurt, galogenlar) xoli bo'lishi kerak;

Agar zarur bo'lgan preheat harorati 150°C yoki undan yuqori bo'lsa, unda metall harorati payvand tugaguniga qadar preheat haroratida ushlab

turilishi kerak.

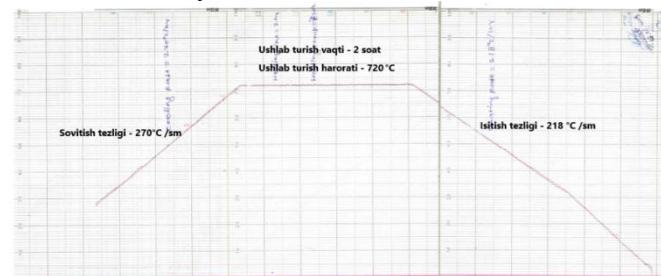
Uskuna va quvurlar spoolari uchun yopiq pechdag'i PWHT eng ma'qul usul hisoblanadi. Mahalliy yopuvchi payvandlar uchun esa elektr qarshilikli isitish, induksiya isitish yoki muffle pechdag'i PWHT qo'llanilishi mumkin.

Agar quvurlar diametri NPS2 dan kichik bo'lsa va seal yoki socket payvandlarda yuqorida ujullar amaliy bo'lmasa, PWHT mahalliy isitish orqali amalga oshirilishi mumkin, bunda: "Yumshoq" gaz olovi ishlataladi, olov doimiy harakatda bo'lishi kerak, hech bir qism maksimal PWHT haroratidan oshmasligi lozim.

Tadqiqot natijalari va ularning muhokamasi. Tadqiqot A335-P11 po'lat materiali va 15,09 mm nominal qalinlikdagi metalda olib borildi. Oldindan qizdirish (preheat) harorati 150°C, qatlamlar oraliq'idagi maksimal harorat esa 285°C sifatida belgilandi. Isitish jarayoni 218°C/mm tezlikda amalga oshirildi. Payvand chokining issiqlik bilan ishlov berish (PWHT) jarayonida ushlab turish harorati 720°C, va ushbu haroratda ushlab turish vaqt 120 daqiqa etib belgilandi. Sovitish tezligi esa 270°C/mm ga teng bo'ldi.

Payvand choki va metallning qattiqlik natijalari quyidagicha aniqlandi:

- Payvand chokida: 178 HB;
- Issiqlik tasiri zonasasi (HAZ): 168 HB;
- Asosiy metal: 162 HB.



3-rasm. Payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish hisoboti.

Bu natijalar payvand chokida PWHT samarali bajarilganligini ko'rsatadi, chunki payvand chokining qattiqligi asosiy metalga nisbatan bir oz yuqoriroq bo'lib, u PWHT orqali ichki kuchlanishlar va mikrostrukturadagi nomutanosibliklarni kamaytirganini bildiradi. Issiqlik tasiri zonasidagi qattiqlikning asosiy metalga yaqinligi (168 HB) esa temperleme jarayonining metallning mexanik xossalari saqlab qolganini tasdiqlaydi.

Shuningdek, payvand choki sifatini baholash uchun radiografik tekshiruv (RT) o'tkazildi. Tekshiruv natijalari qabul qilindi, bu esa payvandning ichki nuqsoniszligini va sifatlari birikishini tasdiqlaydi. Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, belgilangan oldindan qizdirish va PWHT shartlari A335-P11 po'lat materialida 15,09 mm qalinlikda payvand choki sifatini ta'minlash uchun yetarli bo'ldi.

Xulosa. Materiallarni payvandlashda oldin-

dan qizdirish va payvanddan keyingi issiqlik bilan ishlov berish texnologiyalari ilmiy jihatdan asoslangan holda qo'llanilishi kerak. Bu usullar payvand birikmasining sifatini yaxshilaydi, ichki kuchlanishlarni kamaytiradi va konstruktsiyalarning xavfsiz ishlashini ta'minlaydi. Shu bois, sanoat miqyosida ushbu usullarni me'yoriy hujjatlar asosida qo'llash muhim amaliy ahamiyat kasb etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

- [1] American Petroleum Institute. (2020). API Recommended Practice 571: Damage mechanisms affecting fixed equipment in the refining industry (3rd ed.). Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [2] Vitovec, F. H., Covey, R. E., & Vance, J. M. (1964). The growth rate of fissures during hydrogen attack of steels. Proceedings of the API Division of Refining, 44(3), 179–188.
- [3] Materials Properties Council. (1995). Fitness-for-service evaluation procedures for operating pressure vessels, tanks, and piping in refinery and chemical service (FS-26, Draft No. 5). New York.
- [4] Decker, S., Young, D., & Anderson, W. (2009). Safe operation of a high temperature hydrogen attack affected DHT reactor. In Corrosion/2009 (Paper No. 09339, 12 pp.). Houston, TX: NACE International.
- [5] American Petroleum Institute. (2016). API Recommended Practice 941: Steels for hydrogen service at elevated temperatures and pressures in petroleum refineries and petrochemical plants (8th ed.). Washington, DC: American Petroleum Institute.
- [6] ASME. (2021). Boiler and Pressure Vessel Code, Section V: Nondestructive examination (pp. 1–432). New York: ASME.
- [7] ASME. (2021). Boiler and Pressure Vessel Code, Section II-A: Ferrous material specifications (pp. 878–880). New York: ASME.
- [8] Ermakov, Z. D., Dunyashin, N. S., Galperin, L. V., & Yusupov, B. D. (2025). Welding of special steels and alloys (pp. 140–178). Tashkent: FAN.
- [9] Ющенко, К. А. (2004). Свариваемость и перспективные процессы сварки материалов. Автоматическая сварка, (9), 40–45.
- [10] Демченко, М. В., Сисанбаев, А. В., & Кузеев, И. Р. (2017). Исследования состояния сварного соединения металлов по параметрам деформационного и коррозионного рельефа поверхности. Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал, 9(5), 98–115.
- [11] Rakhimov, G. B. (2023). Development of anti-detonation additive. Экономика и социум, 12(115-1), 604–607.
- [12] Rakhimov, G. B., & Sayfiyev, E. K. (2024). Research of the process of producing alcohols based on by-products obtained in the Fischer-Tropsch synthesis. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(3).
- [13] Rakhimov, G. A. B. (2024). Qobiq-quvurlardan foydalangan holda issiqlik almashinish uskunasining samaradorligini oshirish uchun konstruksiyani takomillashtirish. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 2(3).
- [14] Rakhimov, G. (2023). Qobiq quvurli issiqlik almashinish qurilmalaridagi issiqlik almashinish samaradorligiga gidrodinamik parametrلarning ta'sirini o'rganish. Innovatsion texnologiyalar, 51(3), 77–86.