

ZANGLAMAYDIGAN PO‘LAT QUVURLARNI KOMBINATSYALASHGAN LAZER VA YOYLI PAYVANDLASH

*T.N.Kenjaye*v, Olmaliq davlat texnika instituti, assistant

kenjayevtoymurod@gmail.com

R.Sh.Mamatkulov, Olmaliq davlat texnika instituti, assistant

rustammamatkulov22@gmail.com

A.A.Abdukaxxarov, Olmaliq davlat texnika instituti, katta o‘qituvchi

abduaziz0594@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada 8 mm qalinlikdagi A304 markali zanglamaydigan po‘lat quvurlarni kombinatsyalashgan lazer–yoyli (lazer-GMAW) payvandlash jarayonining texnologik imkoniyatlari, issiqlik ta’siri zonasi (ITZ) evolyutsiyasi va chok sifatiga ta’sir etuvchi omillar o‘rganilgan. Payvandlash jarayonida lazer nuri va yoy energiyasining optimal kombinatsiyasi tanlanib, payvand vannasi barqarorligi, g‘ovaklikning kamayishi, chokning ildiz qismida to‘liq o‘tishning ta’minlanishi bo‘yicha eksperimental tahlillar amalga oshirildi. Tajribalar payvandlash tezligi, lazer quvvati va issiqlik manbai joylashuvining chokning geometriyasi, mikrostruktura, qattqlik va mexanik xususiyatlariga ta’siri asosida baholandi.

Аннотация: В данном исследовании исследуются технологические возможности гибридной лазерно-GMAW-сварки для соединения труб из нержавеющей стали А304 толщиной 8 мм, с особым акцентом на эволюцию зоны термического воздействия (HAZ) и качество сварки. Были выбраны оптимальные сочетания мощности лазера и энергии дуги для повышения устойчивости сварочного вала, уменьшения образования пор и обеспечения полного проникновения в корень. Был проведен ряд экспериментов по оценке влияния скорости сварки, мощности лазера и положения теплоисточника на геометрию, микроструктуру, твердость и механические свойства сварного валика.

Abstract: This study investigates the technological capabilities of hybrid laser–GMAW welding for joining 8-mm-thick A304 stainless steel pipes, with particular

emphasis on heat-affected zone (HAZ) evolution and weld quality. Optimal combinations of laser power and arc energy were selected to improve weld pool stability, reduce porosity formation, and ensure full penetration at the root. A series of experiments was conducted to evaluate the effects of welding speed, laser power, and heat-source positioning on weld bead geometry, microstructure, hardness, and mechanical properties.

Kalit soʻzlar: Kombinatsyalashgan lazer–yoyli payvandlash, issiqlik taʼsiri zonasi, gʻovaklik, mikrostruktura, δ -ferrit, γ -austenit, payvand chokining geometriyasi, mexanik xususiyatlar, payvandlash tezligi, lazer quvvati, korroziyaga chidamlilik.

Ключевые слова: Комбинированная лазерно-дуговая сварка, зона теплового воздействия, пористость, микроструктура, δ -феррит, γ -аустенит, геометрия сварного шва, механические свойства, скорость сварки, мощность лазера, коррозионная стойкость.

Keywords: hybrid laser–GMAW welding, heat-affected zone, porosity, microstructure, δ -ferrite, γ -austenite, weld bead geometry, mechanical properties, welding speed, laser power, corrosion resistance.

KIRISH

XX asrning oʻrtalaridan boshlab austenitli zanglamaydigan poʻlatlar sanoatning turli sohalarida keng qoʻllanilmoqda. Kimyo sanoatida neft va gaz uzatish liniyalari va bosimli idishlar ishlatiladi. Austenitli zanglamaydigan poʻlatlar sanoatning koʻplab tarmoqlarida, xususan, neft va gaz uzatish tizimlari, kimyo va neft-kimyo sanoati, issiqlik almashinish qurilmalari hamda agressiv muhitlarda ishlovchi bosim ostidagi quvurlarda keng qoʻllaniladi. Ushbu materiallar yuqori haroratlarda mustahkamligini saqlashi, korroziyaga chidamliligi va kimyoviy barqarorligi bilan ajralib turadi. Biroq, austenitli zanglamaydigan poʻlatlarni payvandlash jarayonida issiqlik taʼsiri zonasi (ITZ) kengayishi, issiq yorilish, gʻovaklik, yirik donali mikrostruktura hosil boʻlishi va katta qoldiq kuchlanishlar shakllanishi kabi jiddiy muammolar kuzatiladi. Ayniqsa, quvurli konstruksiyalarda aylana choklarning sifatini taʼminlash muhandislik amaliyotida dolzarb masalalardan biridir.

An'anaviy payvandlash usullari — himoya gazi muhitida yoyli payvandlash (GMAW), gaz-volframli (GTAW) yoki suv ostida yoyli payvandlash (SAW) — austenitli po'latlarning past issiqlik o'tkazuvchanligi va yuqori termik kengayish koeffitsiyenti sababli katta issiqlik kirishini yuzaga keltiradi. Bu esa chokning deformatsiyalanishi, keng ITZ hosil bo'lishi va qoldiq kuchlanishlar to'planishi bilan kechadi. Shu bois, zamonaviy sanoat sharoitida yuqori zichlikdagi energiya manbalaridan foydalanishga asoslangan payvandlash texnologiyalariga talab sezilarli darajada oshmoqda.

Lazerli payvandlash so'nggi yillarda yuqori tezlik, chuqur kirib borish, tor ITZ va silliq chok yuzasi kabi afzalliklari bilan keng qo'llanilmoqda. Biroq lazer nuri yordamida qalin kesimli zanglamaydigan po'latlarni payvandlashda ildiz qismida yetarli to'ldirishning ta'minlanmasligi, sovish tezligi ortib ketishi va mikrostrukturada mo'rt fazalarning paydo bo'lishi kabi kamchiliklar ham mavjud. Shu nuqtai nazardan, lazer nuri va yoy energiyasini birgalikda qo'llashni nazarda tutuvchi **kombinatsyalashgan lazer–yoyli payvandlash (Laser–GMAW)** texnologiyasi zamonaviy yechim sifatida e'tirof etilmoqda.

Kombinatsyalashgan payvandlash ikki energiya manbaining afzalliklarini birlashtirib, yuqori penetratsiya, barqaror suyuq metall vannasi, kam g'ovaklik va silliq chok hosil bo'lishini ta'minlaydi. Ilmiy manbalarda kombinatsyalashgan payvandlashning chok sifati, ITZ kengligi, ferrit–austenit fazaviy nisbati, mikrostrukturaviy evolyutsiya va mexanik xususiyatlarni yaxshilashi qayd etilgan. Biroq, aynan A304 markali zanglamaydigan po'lat quvurlarni aylana chok bo'ylab bir o'tishda payvandlash jarayoni uchun optimal parametrlarni aniqlash masalasi hanuz to'liq o'rganilmagan.

Shu munosabat bilan ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — **A304 zanglamaydigan po'lat quvurlarni kombinatsyalashgan lazer–yoyli payvandlash orqali nuqsonsiz, bir xilda ildizdan to'liq o'tuvchi va mikrostrukturaviy jihatdan barqaror chok hosil qilish imkoniyatlarini aniqlash hamda jarayon parametrlarining chok sifati va mikrostrukturaga ta'sirini baholashdan iborat.**

Ushbu tadqiqot natijalari sanoat quvurlarini ishlab chiqarish va ta'mirlash jarayonlarida kombinatsyalashgan lazer–yoyli payvandlash texnologiyasini qo'llash bo'yicha muhim ilmiy-amaliy asos yaratadi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR

Eritish reaktorlaridagi konstruktiv qismlarni qurishda austenitli zanglamaydigan po'latlar yuqori haroratlarda maqbul mexanik xususiyatlar bilan birgalikda yuqori korroziyaga chidamlilikni ta'minlaydi [1-2]. Amalda doiraviy ichi bo'sh uchastkalarda zanglamaydigan po'latga bo'lgan talabning ortishi austenitli zanglamaydigan po'latlarni payvandlashni muqarrar qilib qo'yadi. Binobarin, quvurlarning diametri va devor qalinligi bo'yicha uzun geometriyasi tufayli aylana payvandli quvur birikmalari tez-tez talab qilinadi [4]. An'anaviy suyuqlantirib payvandlash, masalan, himoya gazi muhitida yoyli payvandlash, suv ostida yoyli payvandlash va gaz-volfram yoyli payvandlash ko'pincha qo'shimcha qiyinchiliklarga olib keladi. Bu muammolarga issiq kreking, katta issiqlik ta'sir zonasi va ishlab chiqarish unumdorligining tez o'sib borayotgan talablarini qondira olmaslik kiradi [6]. Bundan tashqari, austenitli zanglamaydigan po'latlarning past issiqlik o'tkazuvchanligi atrof-muhit haroratida yumshoq po'latning uchdan bir qismini tashkil qiladi. Yumshoq po'latga qaraganda bir yarim baravar katta bo'lgan kengayishning yuqori issiqlik koeffitsiyenti bilan birlashtirilgan austenitli zanglamaydigan po'latlarni payvandlash natijasida hosil bo'lgan katta qoldiq kuchlanish va buzilishlarga olib keladi [8]. Katta miqdordagi issiqlik sarfi mavjud bo'lganda bu muammo yanada kuchayadi.

Natijada ko'pincha qo'shimcha buzilishlarni tuzatish va qayta ishlash talab etiladi. Payvandlangan mikrostruktura evolyutsiyasi nuqtai nazaridan, xrom karbidlarining issiqlik ta'sir zonasi ichidagi donalar chegaralari bo'ylab cho'kishi choklarni donalararo korroziyaga sezgir qiladi. Ushbu buzilish mexanizmi mexanik xususiyatlarni ham yomonlashtiradi. Natijada, xizmat ko'rsatish sharti orqali erta nosozlik yuzaga keladi [9]. Shuning uchun yuqori konsentratsiyali issiqlik manbai bilan payvandlash usullarini qo'llash orqali issiqlik ta'sir zonasini sezilarli darajada kamaytirishga ko'p urinishlar

qilingan. Yangi eritib payvandlash usullari orasida elektron-nurli payvandlash va lazer-nurli payvandlash austenitli zanglamaydigan po‘latlarning qalin kesimlarini payvandlash uchun katta ahamiyatga ega [10, 8]. Yuqori darajada yo‘naltirilgan issiqlik kirishi, chuqurroq kirib borish, kichikroq issiqlik ta’sir zonasi va kamroq buzilish kabi afzalliklar ikkala usulga ham noyob maqom beradi. Biroq, elektron-nurli payvandlash katta vakuum kamerasisiz keng ko‘lamli aylana payvandlash uchun deyarli qo‘llanilmaydi. Bundan tashqari, birikmada zich qat’iy tirqish joizligini hisobga olish kerak [9]. Lazer-nurli payvandlash oson avtomatlashtirish va yuqori payvandlash tezligida birikmalar hosil qilish imkoniyatiga ega.

Elektron-nurli payvandlashdan farqli o‘laroq, lazer-nurli payvandlash qayta ishlash zaruratini bartaraf etadigan atrof-muhit sharoitda amalga oshirilishi mumkin [10]. Bundan tashqari, diskli lazerlarning yangi avlodi yuqori quvvatda ishlayotganda nurlanishning ajoyib yuqori sifatini o‘z ichiga oladi. Bu ishlanma 8 mm dan katta bo‘lgan payvandlash kalibrlari uchun asosiy hisoblanadi [11]. Barcha afzalliklarga qaramay, qalin kesimlarni yuqori quvvatli avtogen lazerli payvandlashda bir qator umumiy muammolar mavjud. Bu qiyinchiliklar jumlasiga chokning ustki yuzasini o‘yish, haddan tashqari yuqori sovitish tezligi natijasida mo‘rt fazalar hosil bo‘lishi va o‘z-o‘zidan tirqish hosil qilish qobiliyatining pastligi kiradi [12].

TAJIRIBA-SINOV ISHLARI TARTIBI. Zanglamaydigan po‘latdan tayyorlangan 8 mm qalinlikdagi A304 markali quvurlar va kombinatsyalashgan lazer yoyli payvandlash jarayoni uchun ishlatiladigan to‘ldiruvchi simning kimyoviy tarkibi 1-jadvalda keltirilgan. 1-rasmda quvurlarni payvandlash uchun qo‘llaniladigan kombinatsyalashgan yoyli lazerli payvandlash uskunasi ko‘rsatilgan. kombinatsyalashgan lazer yoyli payvandlash jarayoni uchun MFSC 1500X(W) lazerli payvandlash dastgohi ishlatilgan. Austenitli zanglamaydigan po‘latlar yuzasi lazer nuri ta’sirida yuqori aks ettirish qobiliyatiga ega bo‘lganligi sababli, fokuslovchi va kollimatsiyalovchi linzalarni orqa aks etishdan himoya qilish uchun lazer kallagi vertikal o‘qiga nisbatan 6° ga og‘dirildi. Qo‘shimcha ishlov berishdan qochish uchun payvand birikma konfiguratsiyasining turi uchma-uch birikma konfiguratsiyasi deb belgilandi.

Himoya gazi muhitida yoyli payvandlash jarayoni uchun OPTIMARC CV 505 P markali yarim avtomat payvandlash dastgohi 1-rasmda ko'rsatilganidek, simni uzatish soplosi va lazer kallagi o'rnatildi. Suyuq metal vannasini atmosferadan himoyalash uchun 98% Ar-2% CO₂ gazidan foydalanildi. Himoya gazi tarkibida CO₂ mavjudligining asosiy maqsadi yoyni barqarorlashtirish edi. Rasmda ko'rsatilganidek. 1-rasmda keltirilgan gazdan himoyalalanish konstruksiyasi ikkita konfiguratsiyani o'z ichiga oladi: postekranlash va ildizdan himoyalash.

1-jadval

A304L markali po'latlar va sarflanadigan simlarning kimyoviy tarkibi.

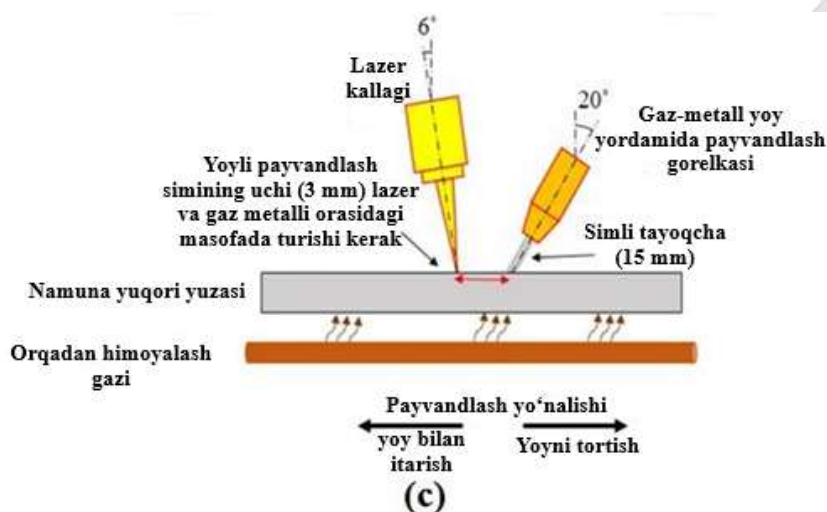
Belgilanishi	C	Mn	P	S	Cu	Si	Ni	Cr	Mo	N	Fe
304L	0.03	2	0.045	0.030	-	-	8	18	-	0.1	tenglik
308LSi	0.01	1.8	0.030	0.030	0.1	0.9	10.5	19.9	0.15	0.1	tenglik



a)

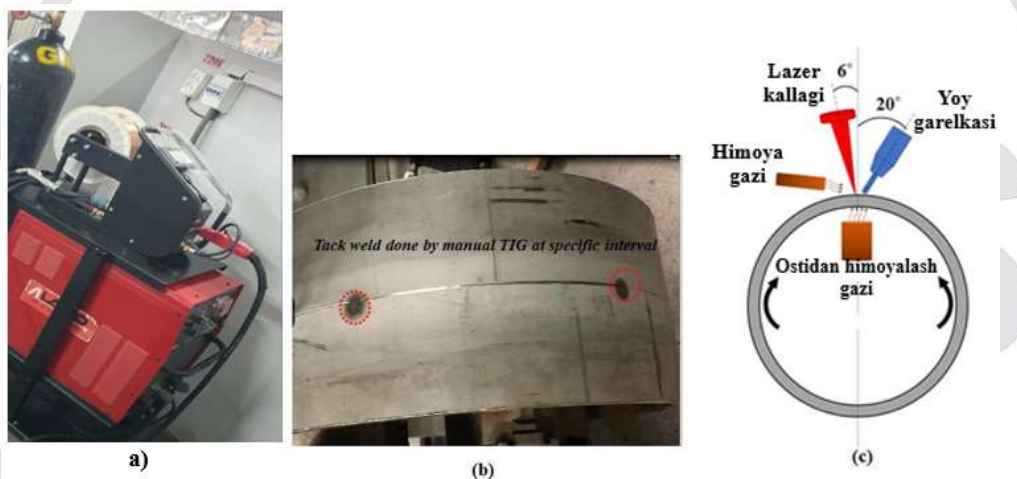


b)



1-rasm. (a) kombinatsyalashgan lazer yoyli payvandlashni sozlash, (b) himoya gazi muhitida yoyli payvandlash gorelkasi bilan lazerli payvandlash kallagining yaqindan ko‘rinishi va (c) yassi plastinalarni payvandlash uchun issiqlik manbai joylashuvining sxematik ko‘rinishi.

Diametri 280 mm bo‘lgan quvurlarning nuqsonsiz payvand chokini olish uchun barcha tajribalar dastlab plastinalarda o‘tkazildi. Ushbu plitalar material turi va qalinligi, shuningdek, kvadrat uchma-uch konfiguratsiyasi bo‘yicha quvurcha bilan bir xil holatda edi. Payvandlash tezligidan tashqari, yoy yetaklovchi yoyli lazer gibret payvandlash (yoy tortish) va lazer yetaklovchi lazer yoyli gibret payvandlash (yoy itarish) jarayonlarining ikkita issiqlik manbai sxematik ravishda 2-rasmda ko‘rsatilgan. 2-jadvaldan ko‘rinib



turibdiki, issiqlik manbai holatining payvandlash sifatiga ta‘sirini baholash uchun o‘rganilgan.

2-rasm (a) Quvurda qurilgan haqiqiy to‘liq sinov, (b) yoyli TIG yordamida birikmani mahkamlash va (c) lazer kallagining quvurga nisbatan sxematik joylashuvi.

Plastinalarni payvandlashdan olingan payvandlash parametrlari bevosita quvurni aylana bo‘ylab payvandlashda qo‘llanildi. Quvurlarni siqishni osonlashtirish va payvandlangan quvurlarning buzilishini kamaytirish uchun yoyli TIG payvandlash jarayoni qo‘llanildi. Birikma yo‘li 110 mm teng oraliqlarda yoyli payvandlangan (1-rasm).

Payvand birikmani mikrostruktura nuqtayi nazaridan tahlil qilish uchun payvandlangan namuna CNC bilan jihozlangan abraziv suv oqimli kesish mashinasida

bo'ylama va ko'ndalang kesildi. So'ngra tayyorlangan kesmalar silliqalanib, maxsus eritma (20 gramm ammoniy biftorid, 0,5 gramm kaliy meta-bisulfit va 100 ml distillangan suv aralashmasi) bilan ishqalanadi. Chok ko'ndalang kesimlarining mikrostrukturasini kuzatish va kimyoviy tavsiflash uchun energetik dispersion spektroskopiya (EDS) kimyoviy tahlili bilan jihozlangan optik mikroskop va skanerlovchi elektron mikroskop (SEM) qo'llanildi. Mikroqattqlik sinovi universal qattqlikni o'lchash asbobi HBRV-187.5 mikroqattqlik testeridan foydalanish orqali o'tkazildi. Birikmalarning cho'zilish xususiyatlari 1mm/min o'zgarmas deformatsiya tezligida WAW600 kN mexanik sinov mashinasida tekshirildi. ASTM E975-03 [16] bo'yicha taqqoslash usuli bilan zanglamaydigan po'lat chokidagi δ -ferrit (C_δ) va γ -austenit (C_γ) ning hajmiy ulushi hisoblanadi. Ushbu usul asosida δ -ferritning (110) va (220) kristallografik tekisliklari va γ -austenitning (111), (200) va (220) difraksion cho'qqilarining integral intensivliklari ko'rib chiqildi. Shunday qilib, C_δ va C_γ ni hisoblash uchun quyidagi tenglamalar ishlab chiqildi:

$$C_\delta = \left[1 + \frac{\left(\frac{l_{\gamma(111)}}{182.8} \right) + \left(\frac{l_{\gamma(200)}}{81.6} \right) + \left(\frac{l_{\gamma(220)}}{44.4} \right)}{1.5 \left(\left(\frac{l_{\delta(110)}}{233.8} \right) + \left(\frac{l_{\delta(220)}}{31.9} \right) \right)} \right]^{-1}$$

$$C_\gamma = \frac{l_{\gamma(111)}}{l_{\gamma(111)} + l_{\gamma(200)} + l_{\gamma(220)}} * 100$$

bu yerda $I_\gamma(hkl)$ va $I_\delta(hkl)$ - mos ravishda γ -austenit va δ -ferrit fazalaridan ma'lum bir kristallografik tekislikning (hkl) integral intensivligi.

NATIJALAR VA XULOSA

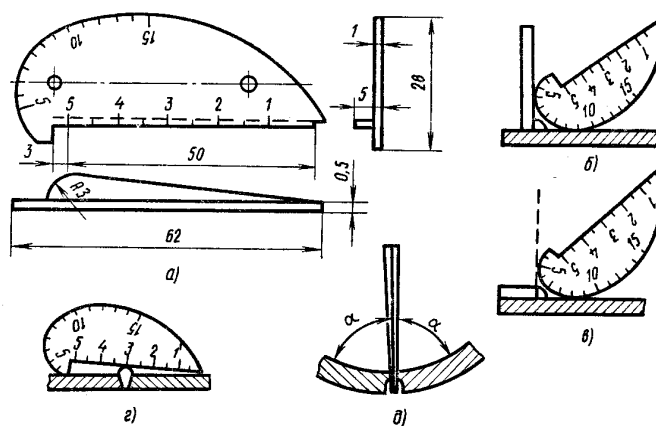
Tadqiqotning maqsadi bir o'tishli kombinatsyalashgan lazer yoyli payvandlashda amalga oshirilgan kichik va bir tekis orqa armatura bilan birlashtirilgan to'liq teshilgan payvand chokni vizual ravishda shakllantirishdan iborat. Choklarning geometrik

parametrlari andozalar yoki o'lchov asboblari (3-rasm) yordamida o'lchanadi. Kombinatsyalashgan lazer yoyli payvandlash jarayonida bir-biriga ta'sir qiluvchi o'zgaruvchilar soni juda ko'p bo'lganligi sababli, g'ovaklarni yumshatish uchun quyidagi yechimlar amalga oshirildi:

1. Uzunroq va kengaytirilgan payvandlash vannasini yaratish uchun tezroq harakatlanish tezligi va kattaroq lazer quvvati ishlatilgan. Eritma kristallanish tezligini pasaytirdi va pufakchalarning erigan chok vannasidan chiqishini osonlashtirdi.

2. Issiqlik manbalarining eng yaxshi joylashuvi tanlandi.

3. Jarayon oxirida lazerli ramping qo'llanildi.



3-rasm. Universal andoza:

a - umumiy ko'rinish, b, v - burchakli chokning balandligini o'lchash, g – uchma uch chokni balandligini o'lchash, d - oraliqni o'lchash.

Yuqoridagi yondashuvlar asosida nuqsonsiz payvand chok olish uchun turli payvandlash tezliklarida bir qator tajribalar o'tkazildi. Har bir sharoitdagi tegishli payvandlash parametrlari 2-jadvalda umumlashtirilgan. Himoya gazining turi va simni uzatish tezligiga qarab, tok va kuchlanish CLOOS himoya gazi muhitida yoyli payvandlash mashinasi tomonidan taqdim etilgan algoritm bo'yicha avtomatik ravishda aniqlandi. Turli payvandlash tezliklarida payvand choklar yuzasidagi choklarning bo'ylama makrofotogrammasi, shuningdek payvand chok ildizining bo'ylama makrofotogrammasi 4-rasmda keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, payvandlashning past tezligida va lazerning past quvvatida armatura ildizi bir xil bo'lmagan. Yoy va lazer

yordamida olingan sof issiqlik kirishining ta'sirini hisobga olish uchun quyidagi tenglamadan foydalanildi:

$$HI_t = \frac{\eta_L P_L + \eta_A VI}{v}$$

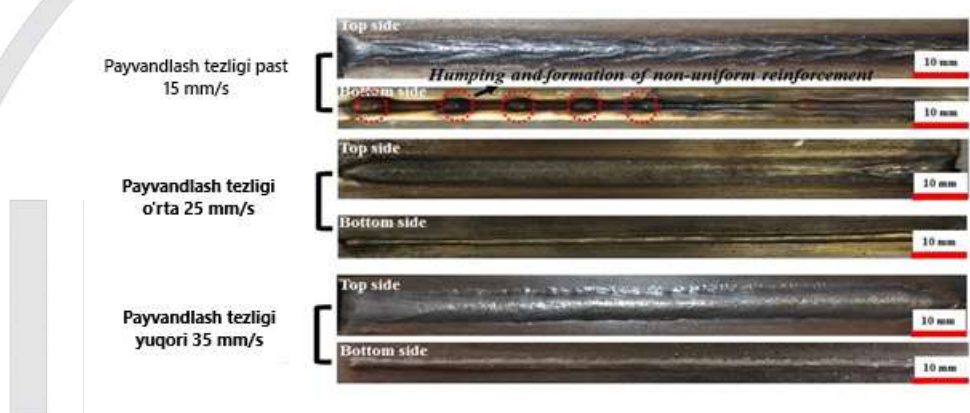
bu yerda P_L - lazer quvvati, V - yoy kuchlanishi, I - yoy toki, v - payvandlash tezligi, η_A va η_P - mos ravishda himoya gazi muhitida yoyli payvandlash va lazerning samaradorligi. Austenitli zanglamaydigan po'latlar uchun adabiyotlarga asosanib, η_A 0,8 ga, η_P esa 0,9 ga teng deb qabul qilindi. 2-jadval va 4-rasmdan ko'rinib turibdiki, payvandlash tezligi tezroq bo'lsa, eritilgan vannaning barqarorligi yaxshilandi va bir tekis kirib borishi ta'minlandi. Shunga o'xshash natijalarda, issiqlik kirishi yetarlicha katta bo'lmaganda, chokning ildiz tomonida metall davriy ravishda tomchilab turganda topilgan. Bu tomchi old tomonda osilib qolishga sabab bo'ldi. Payvandlash tezligini va lazer quvvatini oshirish yuqoridagi masalani hal qildi. Payvandlashning ham o'rtacha, ham yuqori tezliklarida bir tekis o'zakli armatura hosil qilindi. Payvandlashning o'rta va yuqori tezliklarida qo'shimcha tajribalar yoy-turtki rejimida o'tkazildi. Ushbu tajribalar issiqlik manbai joylashuvining payvandlash sifatiga ta'sirini o'rganish uchun o'tkazildi. Vizual tekshiruvga kelsak, yoy yordamida hosil qilingan choklar yaltiroq, kengroq va silliqroq bo'lganligi sababli, valik qirrasi bo'ylab to'liqlanish sezilarli darajada kamayganligi kuzatildi (5-rasm).

2-jadval

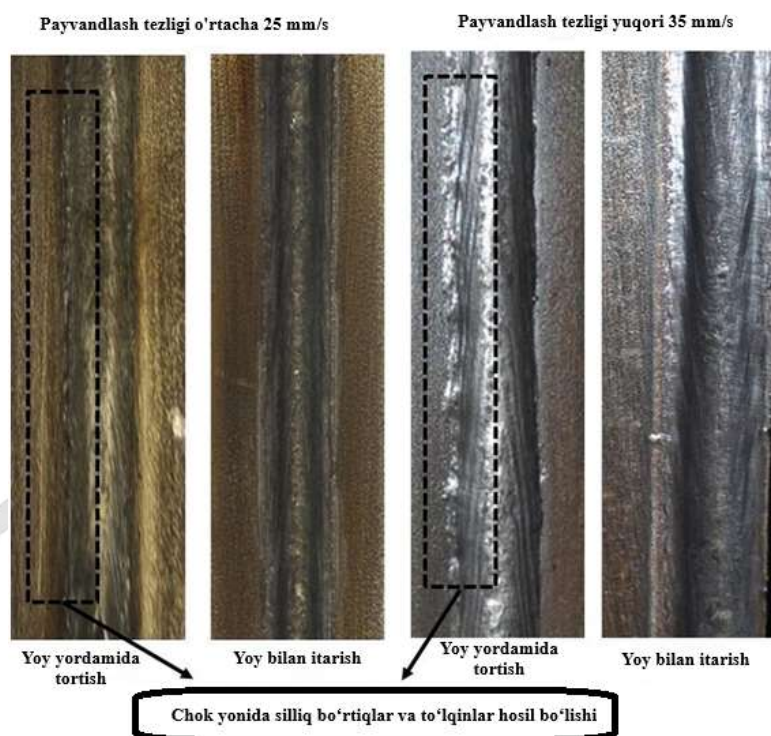
304L markali zanglamaydigan po'latni yoy-tortish holatida turli payvandlash tezliklarida kombinatsiyalashgan lazer-yoy payvandlash uchun payvandlash parametrlari

Payvandlash sharti	Lazer quvvati (kVt)	Payvandlash tezligi (mm/s)	Simni uzatish tezligi	Tok kuchi (A)	Kuchlanish (N)	Himoya gazi sarfi (l/min)	Himoya gazining	Turish masofasi (mm)	Issiqlik sarfi yoy bilan induksiyaalang an (kJ/m)	Issiqlik sarfi lazer bilan	Issiqlik sarfi (kJ/m)
--------------------	---------------------	----------------------------	-----------------------	---------------	----------------	---------------------------	-----------------	----------------------	---	----------------------------	-----------------------

Past tezlik	4	15	3.5	95	20.3	28	18	3-3.5	103	180	283
O'rtac ha tezlik	4	25	4	219	26.5	28	18	3-3.5	186	144	330
Yuqori tezlik	7	35	10	258	27.4	28	18	3.-3.5	162	180	342



4-rasm Payvandlash tezligining bort va o'zak tomondagi valikning payvand ko'rinishiga ta'siri.



5-rasm Turli payvandlash tezliklarida issiqlik manbai joylashishining chok yuzasiga ta'siri.

3-jadval

Payvandlash tezligi va issiqlik manbai joylashishining chok uzunligiga to'g'ri keladigan g'ovaklikning o'rtacha soniga va g'ovaklikning o'rtacha diametriga ta'siri

Payvandlash sharti	Payvand yuza kengligi (mm)	Plastinkalarning uzunligiga (150 mm) to'g'ri keladigan yirik g'ovaklarning o'rtacha soni (>0,25 mm)	Plastinkalarning uzunligiga (150 mm) to'g'ri keladigan mayda g'ovaklarning o'rtacha soni (<0,25mm)	G'ovaklarning o'rtacha diametri (mm)	R-LCC jami
O'rtacha tezlik	6	6	7	0.39	1974

Oʻrtacha tezlik	8	4	2	0.23	1483
Yuqori tezlikdagi	5	1	5	0.29	906
Yuqori tezlikda	7	0	2	0.15	435

XULOSA

Ushbu tadqiqotda A304 markali zanglamaydigan poʻlat quvurlarni kombinatsyalashgan lazer–yoyli payvandlash texnologiyasi asosida bir oʻtishda yuqori sifatli chok olish imkoniyatlari tajribaviy va tahliliy jihatdan oʻrganildi. Olingan natijalar asosida quyidagi asosiy xulosalarga kelindi:

- 1. Kombinatsyalashgan lazer–yoyli payvandlash anʼanaviy payvandlash usullariga nisbatan torroq issiqlik taʼsiri zonasi, kam deformatsiya va bir xilligi yuqori boʻlgan chok hosil qilishi bilan ajralib turadi.** Bu ikki energiya manbaining uygʻun ishlashi suyuq metall vannasining barqarorligini sezilarli darajada oshirdi.
- 2. Payvandlash tezligi va lazer quvvati chok sifatiga eng kuchli taʼsir koʻrsatuvchi omillar ekanligi aniqlandi.** 25–35 mm/s tezliklar diapazonida va 4–7 kVt lazer quvvatida nuqsonsiz, bir tekis ildiz oʻtishi va yaxshi chok geometriyasi taʼminlandi.
- 3. Gʻovaklik miqdori issiqlik manbai joylashuviga sezilarli darajada bogʻliqligi qayd etildi.** Yoyning “itarish (push)” rejimida gʻovakliklar soni 2–3 baravar kamaygani, chok yuzasining silliqsligi va valikning tekisligi yaxshilangani kuzatildi.
- 4. SEM va XRD tahlillari natijalariga koʻra, payvandlangan hududda δ -ferritning optimal miqdorda shakllanishi chokdagi issiq yorilish**

xavfini kamaytirdi. Mikrostrukturada austenit matritsaning ustunligi saqlangan bo'lib, bu chokning plastiklik va mexanik barqarorligini ta'minladi.

5. **Mikroqattqlik o'lchovlari** chok markazida bir maromda o'zgarishi va ITZ bo'ylab keskin qattqlik sakrashlari kuzatilmasligi kombinatsyalashgan payvandlash jarayonining issiqlik ta'sirining muvozanatli taqsimlanganini ko'rsatdi.

6. **Mexanik sinovlar chokning mustahkamligi asosiy metall ko'rsatkichlariga yaqin ekanini tasdiqladi.** Bu bir o'tishda amalga oshirilgan kombinatsyalashgan payvandlash jarayonining samaradorligini yanada kuchaytiradi.

ADABIYOTLAR

1. М. Эргашев, А.А. Абдукаххаров, И.Р. Комилов, Т.Н. Кенджаев. Ейилган деталларни кайта тиклаш ва мустахкамлаш технологииларининг самарадорлигини таккослаш // Наука и образование. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/yeyilgan-detallarni-qayta-tiklash-va-mustahkamlash-texnologiyalarining-samaradorligini-taqqoslash> (дата обращения: 16.04.2024).
2. P. Traverso, E. Canepa Chuqur dengiz muhitida metallar va qotishmalar korroziyasi bo'yicha tadqiqotlar sharhi, Ocean Engineering., 87, (2014), 10-15-betlar.
3. Фазилов Д. С., Кенжаев Т. Н., Мадалиев С. Д., Абдукаримова Ф. А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ СВАРКЕ // Экономика и социум. 2024. №1 (116). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-informatsionnyh-tehnologiy-v-protssesse-obucheniya-svarke> (дата обращения: 16.12.2024).
4. J. Yan, M. Gao, X. Zeng, TIG, lazer va lazer-TIG kombinatsyalashgan payvandlash, Optika va muhandislikdagi lazerlar tomonidan 304 ta zanglamaydigan po'lat birikmalarning mikrostrukturasi va mexanik xususiyatlarini o'rganish., 48, (2010), 512-517-betlar.

5. Fazilov, D. S., Mamatqulov, R. S. o'g'li, Kenjayev, T. N. o'gli, & Abdukaxxarov, A. A. o'g'li. (2024). Boyitish fabrikalari jihozlarining yeyilish sabablari. *Science and Education*, 5(4), 146–151. Retrieved from <https://openscience.uz/index.php/sciedu/article/view/6899>
6. J. Xu, J. Chen, Y. Duan, C. Yu, H. Lu, AISI 304 zanglamaydigan po'lat quvurlarining aylanma chokida TIG va lazer-yoyli payvandlash tomonidan hosil bo'lgan qoldiq kuchlanishni taqqoslash, *Materiallarni qayta ishlash texnologiyasi jurnali.*, 248, (2017), 178-184-betlar.
7. Fazilov, D. S., & Kenjayev, T. N. o'g'li. (2024). MIIP-3,6-5,0 sharli tegirmonining jihozlarini yeyilish sabablari. *Science and Education*, 5(4), 262–267. Retrieved from <https://openscience.uz/index.php/sciedu/article/view/6914>
8. A.R. Safari, M.R. Forouzan, M. Shamanian, Hot cracking in stainless steel 310s, numerical study and experimental verification, *Computational Materials Science.*, 63, (2012), pp.182- 190.
9. J.H. Baek, Y.P. Kim, W.S. Kim. Y.T. Xo, LNG uzatish uchun 304 turdagi zanglamaydigan po'lat quvurning Charpi ta'siriga haroratning ta'siri va CTOD qiymatlari, *KSME International jurnali.*, 16, (2002), 1064-1071-betlar.
10. C. Ma, Q. Peng, J. Mei, E.H. Han, W. Ke, Microstructure and Corrosion Behavior of the Heat Affected Zone of a Stainless Steel 308L-316L Weld Joint, *Journal of Materials Science and Technology*, (2017), In Press.
11. A. Siddaiah, B. K. Singh, P. Mastanaiah, Prediction and optimization of weld bead geometry for electron beam welding of AISI 304 stainless steel, [*The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.*](#), 89, (2017), pp.27-43.
12. C. Kose, R. Kaçar, A.P. Zorba, M. Bagirova, A.M. Allahverdiyev, [*The effect of CO2 laser beam welded AISI 316L austenitic stainless steel on the viability of fibroblast cells, in vitro*](#), *Materials Science and Engineering: C*, 60, (2016), pp.211-218.
13. M.St.Węglowski, S. Błacha, A. Phillips, Electron beam welding – Techniques and trends – Review, [*Vacuum.*](#), 130, (2016), pp.72-92.