

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ОБЛАСТІ СТИКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ (Огляд)

М.В. Юрженко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Трубопроводи для транспортування природного газу, холодного водопостачання та водовідведення є одним з найбільш значимих елементів міської та селищної інфраструктури. Трубопроводи з полімерних матеріалів, зокрема, поліетилену, є сучасною альтернативою сталевим трубопроводам, які впродовж 15–20 років експлуатації руйнуються під дією хімічної та електрохімічної корозії. У світі і в Україні зокрема майже усі нові розвідні трубопроводи для газопостачання, холодного водопостачання та водовідведення будують з поліетиленових труб. Широкого застосування в Україні, особливо у великих містах, набула практика заміни старих зношених сталевих трубопроводів новими поліетиленовими та реновації методом затягування поліетиленової труби у сталевий трубопровід. Одним з найбільш технологічних методів з'єднання поліетиленових труб практично усього діапазону зовнішніх діаметрів є зварювання нагрітим інструментом встик. Обладнання для цього методу зварювання на даний час в Україні не виробляється. Імпортні установки для стикового зварювання поліетиленових труб працюють за давно розробленою та звичною технологічною схемою, деякі елементи якої, у зв'язку з удосконаленням самих полімерних матеріалів, можуть бути переглянуті та спрощені при збереженні високої якості кінцевих зварних з'єднань. Метою роботи є огляд сучасного стану в області стикового зварювання нагрітим інструментом виробів з пластмас, в першу чергу поліетиленових труб, та найбільш цікавих з технологічної точки зору його модифікацій. Бібліогр. 28, рис. 5.

Ключові слова: стикове зварювання нагрітим інструментом, пластмаси, поліетиленові труби.

З'єднання поліетиленових труб практично є завершальною та, з іншого боку, найбільш відповідальною стадією усього складного технологічного ланцюга будівництва технологічного трубопроводу. Світовий та вітчизняний досвід доводять, що у більшості випадків такі з'єднання виконуються за допомогою зварювання, зокрема, зварювання нагрітим інструментом встик. Зварні шви відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійності роботи усього поліетиленового трубопроводу, тому в усьому світі приділяється велика увага дослідженням технологічних особливостей таких швів [1–3].

Згідно з діючою в Україні нормативною документацією, поліетиленові труби для подачі холодної води можна з'єднувати між собою зварюванням нагрітим інструментом встик, врозтруб, терморезисторним зварюванням, а також механічно за допомогою спеціальних затискних деталей [4]. Поліетиленові труби для газопроводів дозволяється з'єднувати між собою тільки двома способами зварювання — нагрітим інструментом встик та терморезисторним [5]. Оскільки механічні з'єднання напірних поліетиленових труб на практиці застосовують досить рідко, основним методом з'єднання таких труб при будівництві технологічних трубопроводів є зварювання. Усі три згаданих вище способи зварювання поліетиленових труб відомі давно, технологія та обладнання для них досить добре розроблені [6–8]. Однак зварю-

вання врозтруб та терморезисторне потребують використання спеціальних з'єднувальних деталей — муфт, які здорожчують будівництво трубопроводів, збільшують зовнішні розміри стику. Крім того, ці способи зварювання потребують досить точного дотримання геометричної форми та розмірів труби і з'єднувальної деталі через великий ризик утворення непроварів або утворення пор при осіданні матеріалу зварного шва [9].

Зварювання нагрітим інструментом встик на даний час є найбільш універсальним способом з'єднання поліетиленових труб і може застосовуватися для більшості типорозмірів труб, за винятком тонкостінних, з товщиною стінки менше 5 мм. В останні роки ця технологія постійно розвивається та удосконалюється, застосовується для зварювання труб великого та надвеликого діаметру та труб з нових марок поліетиленової композиції [10]. Обладнання для цього способу зварювання демонструє тенденцію до диференціації конструкції в залежності від призначення. Для зварювання в польових умовах використовують потужні та жорсткі машини з чотирма затискачами, в цехових умовах зварюють, як правило, короткі відрізки труб за допомогою стаціонарних машин з поворотними затискачами, для ремонтних та монтажних робіт використовують облегшені зварювальні пристрої [11].

За останні 30 років відбувся стрімкий розвиток трубних марок поліетилену, які пройшли еволю-

цію від ПЕ 32 до ПЕ 100. На практиці постійно виникає потреба зварити між собою труби, виготовлені із «старих» та «нових» типів поліетиленів. Дуже часто будівельники помилково вважають поліетилен різних градацій як подібні та рівноцінні, хоча вони суттєво різняться між собою молекулярною структурою та фізичними властивостями [12]. Експериментально підтверджено, що довготривала якість зварних з'єднань поліетиленових труб, що працюють під навантаженням, залежить від мікро- та макромолекулярної структури матеріалу, особливості формування якої необхідно окремо вивчати для кожної пари полімерів, що зварюються. Якість зварного з'єднання поліетиленових труб визначається, головним чином, теплофізичними та реологічними процесами в зоні зварного шва. При стиковому зварюванні нагрітим інструментом характерним є потужна течія розплавленого матеріалу, який в процесі осадження витискається із середини з'єднання назовні в грат. Кінетичні закономірності цього процесу залежать від основних параметрів процесу зварювання та, з іншого боку, суттєво залежать від властивостей поліетиленової композиції.

Підведення теплової енергії, необхідної для зварювання термопластичних полімерів, простіше усього здійснюється шляхом безпосереднього контакту поверхні деталі, що зварюється, з нагрітим інструментом. Найчастіше таким способом з'єднують одновісно направлені деталі встик, але застосовують цей спосіб і для інших типів з'єднання. Через спосіб передачі теплової енергії цей вид зварювання часто називають тепловим. У випадках, якщо безпосередній контакт з поверхнею з'єднання неможливий, нагрівають зовнішню поверхню деталей – так зване зварювання непрямым нагрівом [13].

Спосіб зварювання нагрітим інструментом встик (прямим нагрівом) широко застосовується на практиці завдяки простоті технологічного процесу зварювання, обладнання та оснастки. Головним чином, цей спосіб зварювання застосовують при будівництві полімерних трубопроводів (найбільше – поліетиленових) для транспортування горючого газу та води. Інші сфери застосування теплового зварювання встик – з'єднання пластмасових профілів при виготовленні віконних рам, зварювання стрижнів, плит та інших деталей при виготовленні різних конструкцій із пластмас. В останні роки цей спосіб зварювання з використанням спеціального обладнання використовується для зварювання виробів з інженерних пластмас в автомобільній та інших видах промисловості [14]. Використовують стикове зварювання нагрітим

інструментом і для зварювання композиційних полімерних матеріалів [15].

Традиційно, процес зварювання нагрітим інструментом встик відбувається з заданою величиною тиску при осадженні. Типова діаграма зміни робочого тиску протягом часу зварювання приведена на рис. 1, а.

При зварюванні пластмас, які мають широкий температурний інтервал перебування у стані розплаву з низьким рівнем в'язкості, традиційна технологія зварювання встик з контрольованим робочим тиском виправдана (рис. 1, а), оскільки при досягненні заданої величини тиску в процесі осадженні гарантовано вдається витиснути розплавлений матеріал в грат.

При зварюванні пластмас, в'язкість яких суттєво змінюється в залежності від температури, застосовують технологію зварювання нагрітим інструментом з фіксованою величиною осадки (рис. 1, б), оскільки при охолодженні поверхонь, що зварюються, нижче оптимального рівня в'язкість розплаву може зрости настільки, що встановлений рівень робочого тиску не зможе забезпечити витискання розплаву при осадженні та нормальне формування шва. В цьому випадку спеціальними пристроями (як правило, упорами) контролюється як величина оплавлення поверхні деталей при нагріванні, так і величина осадки, тобто зони оплавлення при витисканні нагрітого розплаву в грат. Ці ж упори визначають остаточний розмір зварного шва після зварювання. При такій технології, в залежності від конкретних умов зварювання, може змінюватись величина робочого тиску, оскільки розплав з меншою в'язкістю буде витискатись меншим тиском і навпаки. Аналогічно, при використанні традиційної технології існує невизначеність величини осадки, яка також буде залежати від в'язкості розплаву полімеру.

Чистота поверхонь деталей, що зварюються, — один з основних факторів, що забезпечують якість з'єднання при зварюванні нагрітим інструментом встик. Забруднення погіршує цілісність зварного шва, а сторонні включення можуть діяти як концентратори напружень, що стає передумовою для виникнення тріщин при навантаженні. Оскільки більшість зварних з'єднань полімерних труб виконуються у польових умовах, загроза забруднення таких швів особливо значна. Розрізняють такі види забруднень поверхні труб: сильні забруднення грунтом, смолою та іншим брудом, незначні забруднення пилом, жирові та масляні сліди, волога на поверхні, окислення поверхні атмосферним киснем, ерозія поверхні під дією сонячного ультрафіолетового випромінювання. Автоматизація процесу зварювання

нагрітим інструментом повинна передбачати максимально можливе очищення поверхонь деталей перед зварюванням [16].

Прямий характер нагріву поверхонь та їх безпосередній контакт при осадженні висуває підвищені вимоги до геометрії торців труб, що зварюються. Тому, згідно з вимогами нормативів, закріплені та відцентровані кінці труб і деталей перед зварюванням піддають механічній обробці — торцюванню з метою вирівнювання поверхонь, що зварюються, безпосередньо у зварювальній установці. Максимально допустима величина зазорів між торцями, що зварюються, спеціально обумовлюється в залежності від товщини стінки труби [5]. Пристрій для торцювання зазвичай являє собою складний електромеханічний пристрій зі спеціально заточеними ножами, що вирівнюють поверхні торців труб. Процес механічного торцювання труб суттєво ускладнює підготовку до зварювання, особливо із збільшенням зовнішнього діаметру труб, що зварюються. Наявність складного механічного торцювача, який треба постійно обслуговувати та налаштовувати, значно збільшує вартість обладнання для стикового зварювання.

Після відповідної підготовки торців труб розпочинається безпосередньо зварювання стиків. Використання зовнішнього інструменту для нагріву поверхонь, що з'єднуються, передбачає переривчастість процесу стикового зварювання труб. Зазвичай виділяють такі основні стадії процесу, що також поділяються на етапи [17] (рис. 1):

- розігрів поверхонь торців труб, що включає етапи оплавлення t_1 та нагріву t_2 ;
- технологічна пауза t_3 , яка необхідна для видалення нагрівального інструменту;
- осадження деталей, що зварюються t_4 з поступовим збільшенням робочого тиску та охолод-

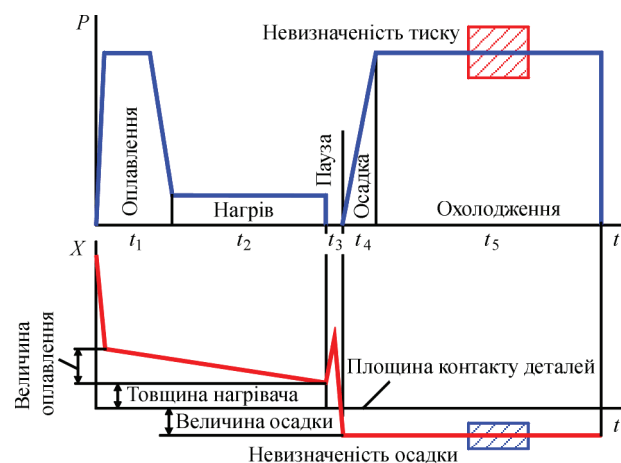


Рис. 1. Часові діаграми тиску (P) та переміщення торців деталей (X) при різних технологіях процесу зварювання пластмас (в тому числі поліетиленових труб) нагрітим інструментом встик: *a* — зварювання з контрольованим тиском; *б* — зварювання з контрольованою осадкою

ження зварного шва під тиском t_5 до його остаточного формування.

На етапі оплавлення торці труб входять у безпосередній контакт з поверхнею нагрівального інструменту. Температура нагрівача заздалегідь встановлюється вищою за температуру плавлення полімерного матеріалу, з якого виготовлені вироби, тому процес оплавлення торців починається одразу. Прогрів торців труб здійснюється виключно за рахунок теплопередачі з поверхні нагрівального інструменту та поступової теплопровідності полімерного матеріалу вглиб виробу. Процес оплавлення торців необхідний для забезпечення ефективного рівномірного їх прогріву при щільному контакті поверхонь труб і нагрівального інструменту. На цьому етапі за рахунок розплавлення полімерного матеріалу зникають усі мікронерівності поверхонь торців, а також навіть мінімальний зазор між їх площинами, який міг залишитися після механічного торцювання. Для прискорення процесу оплавлення торці труб притискаються до нагрівального інструменту з максимальним робочим тиском $0,2 \pm 0,02$ МПа (рис. 1, *a*), що викликає активне витискання розплаву полімеру назовні. Критерієм завершення рівномірного оплавлення вважається утворення невеликих рівномірних валиків первинного ґрату по периметрам обох торців труб, що зварюються [7].

Вважається, що в процесі оплавлення торців труб, прогрівання масиву полімеру в глибину практично не відбувається, оскільки усе тепло, яке передане нагрівачем витрачається на розплавлення нерівностей поверхонь труб. По завершенні етапу оплавлення t_1 робочий тиск на труби зменшується до мінімальної величини $0,01 \dots 0,02$ МПа та починається етап нагріву t_2 , тривалість якого окремо визначається для кожного типорозміру та матеріалу труби. На етапі прогріву розплавлення матеріалу практично припиняється, а відбувається його нагрівання в глибину за рахунок його теплопровідності.

Прогрівання масиву стінки труби відбувається нерівномірно, найменша температура досягається в центрі, а найбільш прогрітими стають зовнішня та внутрішня поверхні труби. Це викликано тим, що поверхонь труби досягає не тільки енергія лінійного теплового потоку від нагрівача, а й додаткова теплова енергія від витиснутого у ґрат розплаву та від випромінювання поверхні нагрівача. По завершенні етапу нагріву на поверхні кожного з торців труб повинні утворитись невеликі рівномірні шари в'язкоплинного матеріалу, які на подальших етапах утворять зварне з'єднання [18].

Температура нагрівального інструменту та час прогріву є основними параметрами при зварюван-

ні нагрітим інструментом встик. Робоча зона повинна бути захищеною від охолодження вітром та низькою температурою, а при зварюванні в умовах підвищеної температури — захищена від перегріву та дії прямих сонячних променів. Поверхня нагрівального інструменту не повинна мати подряпин та інших дефектів на антиадгезійному покритті, температуру його необхідно перевіряти на різних ділянках робочої поверхні. Робочу температуру нагрівального інструменту рекомендовано зменшувати на 5...10 % зі зростанням товщини труб, що зварюються [19].

В деяких випадках для зменшення об'єму розплавленого матеріалу при нагріві використовують так званий високотемпературний нагрівальний інструмент, з температурою на 100...150 °C вище температури плавлення полімеру [20]. У цьому разі, для запобігання деструкції полімеру, тривалість прогріву значно знижується.

Проміжний етап процесу стикового зварювання нагрітим інструментом – технологічна пауза t_3 . Під час паузи торці труб від'єднуються від нагрівального інструменту, він видаляється із зони зварювання, а труби зближуються до контакту поверхонь торців. Під час паузи нагрітий матеріал охолоджується, контактує з атмосферою та може окислюватись, оплавлені поверхні можуть забруднюватись пилом та вологою. Тому тривалість паузи намагаються по можливості зменшити. Максимально допустима тривалість паузи встановлюється нормативними документами у межах 3...6 с в залежності від типорозміру труби [5]. Після безпосереднього контакту поверхонь торців труб починається завершальна стадія процесу стикового зварювання — осадження.

В процесі осадження за рахунок робочого тиску посилюється фізичний контакт оплавлених поверхонь, що створює передумови для виникнення міжмолекулярної взаємодії між матеріалами деталей та утворення зварного з'єднання. Під тиском відбувається видавлювання розплавленого матеріалу із зони зварювання та утворення вторинного (зварювального) ґрату. З течією розплаву із шва видаляються пори, забруднення та інші дефекти, що могли утворитись на попередніх етапах процесу. Тривалість етапу осадження t_4 , що визначає швидкість зростання робочого тиску, обумовлюється нормативними документами та збільшується зі зростанням товщини стінки труби. Завелика швидкість осадження може викликати надмірні напруження в зоні зварювання та сприяти утворенню дефектів швів [9] (рис. 2).

Якість зварювання значною мірою визначається реологічними процесами, що протікають при осадженні в зоні зварного з'єднання. Вважається,

що чим менша в'язкість полімеру, тим легше він зварюється. Швидкість переміщення деталей при осадженні обернено пропорційна середній в'язкості розплаву [21]. Допустимим є зварювання труби із поліетиленів різних типів, якщо показники текучості розплавів їх відрізняються мало [22].

Після осадження починається останній етап утворення зварного з'єднання — повільне охолодження зварного шва при збереженні робочого тиску, що триває декілька хвилин. Наявність тиску сприяє релаксації напружень і запобігає утворенню тріщин та інших дефектів при усадці матеріалу. Охолодження нагрітих ділянок у полімерних матеріалах відбувається повільніше, ніж у металах, оскільки теплопровідність цих матеріалів набагато нижча. Зона термічного впливу для швів, які зварені нагрітим інструментом встик розташована поблизу зварного з'єднання. Тому керувати температурою в зоні зварювання можливо додатковим нагріванням або охолодженням зон термічного впливу з використанням додаткового інструменту [23]. По завершенні етапу охолодження тривалістю t_5 зварне з'єднання вважається повністю сформованим та видаляється зі зварювального обладнання.

Відзначається, що для забезпечення високої якості зварних швів полімерних трубопроводів необхідне точне дотримання усіх рекомендованих параметрів процесу зварювання. Однак навіть за цих умов можливий збіг обставин, що призводить до виникнення дефектності зварних з'єднань. Несплавлення у зварному стиковому з'єднанні виникає при деструкції частини матеріалу через аномально високу температуру нагрівача, при переохолодженні матеріалу під час технологічної паузи, а також внаслідок забруднення. Окремі невеликі порожнини та пори всередині швів можуть утворюватись в результаті процесів усадки, що викликаються нерівномірним прогрівом масиву полімерного матеріалу (рис. 3). Неможливість усадки приповерхневих шарів зварних з'єднань призводить до виникнення тріщин як у площині

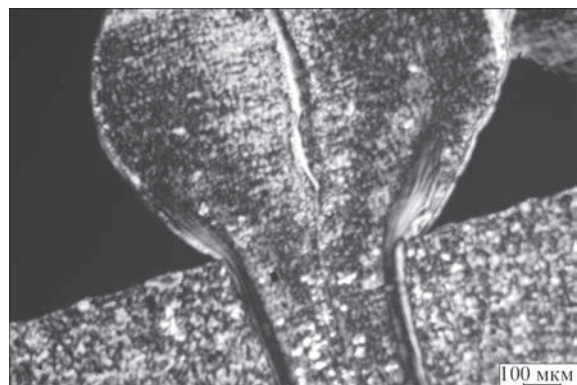


Рис. 2. Дефект у вигляді прохідної тріщини у зварному ґраті та шві

сплавлення, так і на ділянках під гратом по межі між розплавом та основним матеріалом [9].

Однією з технологічних умов отримання якісних стикових швів є облаштування зручного робочого місця для зварювальників. На практиці цей принцип нерідко порушується, особливо при виконанні різного роду ремонтних робіт. Типовими помилками є занадто малі розміри котлованів та траншей, що не дозволяє належним чином налаштувати монтажне обладнання та виставити деталі, що з'єднуються. Відсутність надійної опори для центратора, перевищення нормативного часу технологічної паузи може стати причиною непроварів та інших дефектів зварних швів [24]. Таким чином, компактність, надійність роботи та зручність доступу є одними з основних вимог до обладнання, яке призначене для зварювання полімерних трубопроводів.

В даний час будівельні організації України використовують такі обладнання для зварювання полімерних труб провідних європейських та азіатських виробників, як Georg Fischer (Швейцарія), Widos, Rothenberger (Німеччина), Ritmo (Італія), Kamitech, NowaTech (Польща), Tugan Makina (Туреччина), Times Asia Group Ltd. (Китай) і т. п. (рис. 4). Виробляють подібне обладнання і в країнах СНГ — Росії, Білорусі, Казахстані [25]. Слід відзначити, що обладнання для зварювання полімерних труб нагрітим інструментом встик усіх виробників призначено для реалізації традиційної технологічної схеми зварювання та побудовано за однаковою компоновочною схемою з гідравлічним приводом осадження. Для зварювання труб малого діаметру використовують невеликі установки з ручним механічним приводом. Відрізняються між собою установки різних виробників тільки конструктивними особливостями та якістю виконання окремих вузлів та блоків.

Важливою тенденцією розвитку сучасної техніки зварювання полімерних труб є диференціація обладнання за призначенням. В залежності від видів зварювальних робіт, обладнання для зварювання нагрітим інструментом встик може мати різні конструктивні рішення та різну допоміжну оснастку. Центратори зварювальних установок можуть мати різну кількість та потужність затискачів, оснащуватись гідравлічним, пневматичним або механічним приводами переміщення труб. Для зварювання у по-

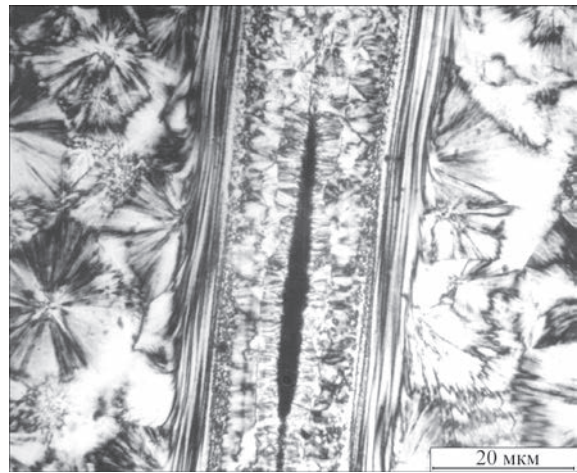


Рис. 3. Дефект у вигляді порожнини у зварному шві

льових умовах застосовують жорсткі центратори з чотирма затискачами, а цехові машини, як правило, мають полегшену конструкцію та можуть бути оснащені поворотними затискачами. Взаємозаміна зварювальних установок різного призначення, як правило, недопустима [11]. Відзначається ефективність в деяких випадках використання для зварювання встик поліетиленових труб обладнання з пневмоприводом, яке має меншу вартість та збільшений діапазон допустимих кліматичних умов [26] (рис. 5).

Світові тенденції розвитку технології та обладнання для зварювання нагрітим інструментом — це його застосування для зварювання нових полімерних матеріалів, розширення діапазону робочих температур нагрівачів тощо. Використовують нагрівальні інструменти «звичайної» температури (до 270 °С), підвищеної температури (350...450 °С) та інструменти надвисокої темпера-



Рис. 4. Установки для стикового зварювання полімерних труб нагрітим інструментом різних європейських виробників: а — Georg Fischer; б — Widos; в — Rothenberger; г — Ritmo

тури 500...550 °С з можливістю одночасного нагрівання інфрачервоним випромінюванням [10].

Модифікація способу зварювання нагрітим інструментом встик, що називають зварюванням за переміщенням, все ширше застосовується для зварювання плоских деталей з полімерів різних видів [27, 28]. Глибина оплавлення на першій фазі процесу нагріву визначається спеціальними механічними опорами на нагрівальному інструменті. Так само, на етапі осадження механічні опори обмежують відносно переміщення торців деталей попередньо визначеною величиною. Таким чином, розмірами зварного з'єднання, що утворюються після формування шва, можна керувати з великою точністю.

Незважаючи на тривалий історичний період використання способу зварювання нагрітим інструментом та простоту технології, актуальним вважається суттєве удосконалення та розширення сфер застосування цього методу. Традиційними недоліками способу зварювання нагрітим інструментом встик вважаються обмежені можливості керування процесом та отримання даних про хід його у реальному часі, завеликий час тривалості етапів процесу. В даний час перспективними вважаються зварювальне обладнання, що дозволяє операторам точно керувати переміщенням окремих частин, температурою поверхонь, що нагріваються, та зусиллям, що прикладається до деталей [20]. Нагрівальний інструмент може мати різноманітні форми в залежності від конфігурації зварного з'єднання. Пристрої затискання деталей стають взаємозамінними та забезпечують точне вирівнювання та утримання їх при зварюванні. Вони можуть функціонувати як в горизонтальній, так і в вертикальних площинах. Підвищенню швидкості дії обладнання для зварювання нагрітим інструментом сприяє застосування для керування переміщенням деталей серводвигунів. Для контролю в процесі зварювання основних параметрів, таких, як зусилля, швидкість, відстань, температура, необхідно застосування сучасного комп'ютерного апаратного та програмного забезпечення.

Нерівномірний розподіл температури по верхній нагрівального інструменту може негативно впливати на кінцеву якість зварного з'єднання. Традиційні конструкції нагрівачів зазвичай забезпечують можливість регулювання температури в одній — двох точках робочої зони. Деякі сучасні нагрівальні інструменти мають на поверхні до 9 точок окремого програмування температури.

Швидкість переміщення деталей при зварюванні — ще один важливий параметр процесу, що впливає на якість зварного шва. Зазвичай регла-

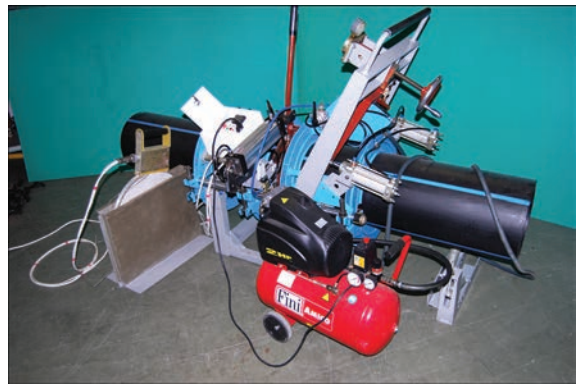


Рис. 5. Установка з пневмоприводами для стикового зварювання полімерних труб виробництва ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України

ментується тільки швидкість зростання величини робочого тиску, а для процесу формування зварного з'єднання важливими є абсолютна величина швидкості переміщення, програмовані прискорення або уповільнення руху у визначені моменти часу. Традиційні зварювальні установки мають гідравлічні або пневматичні приводи, що практично не дають можливості контролю швидкості руху. Забезпечити програмування та контроль параметрів руху деталей при зварюванні дозволяє використання сучасних сервоприводів.

Таким чином, стикове зварювання нагрітим інструментом виробів з пластмас, в першу чергу полімерних труб, було і залишається одним з найбільш розповсюджених і популярних способів зварювання. Однак удосконалення самих полімерних матеріалів і поява нових фундаментальних знань створює передумови до спрощення технології зварювання, проблематика якого є актуальною у сучасному полімерному світі.

Список літератури

1. Qi F., Huo L., Zhang Y., Jing H. (2004) Study on Fracture Properties of High-density Polyethylene (HDPE) Pipe. *Key Engineering Materials*, 261-263, 153-158.
2. Leskovic K., Kollar M., Barczy P. (2006) A study of structure and mechanical properties of welded joints in polyethylene pipes. *Materials Science and Engineering*, 9, 138-143.
3. Adnan A. (2013) An analysis of electro-melting and hot element welding methods' safety used to join PE natural gas pipes. *International Journal of electronics, mechanical and mechatronics*, 3, 2, 493-504.
4. ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009 *Проектування та монтаж мереж водопостачання та каналізації з пластикових труб*.
5. ДБН В.2.5-41:2009. *Газопроводи з поліетиленових труб. Проектування, будівництво*.
6. Шестопап А.Н., Васильев Ю.С., Тарасенко О.В., Тарногородский В.П. (1990) *Справочник по сварке и склеиванию пластмасс*. Шестопап А.Н., Кораб Г.Н. (редакторы). Киев, Техника.
7. Волков С.С. (2001) *Сварка и склеивание полимерных материалов*. Москва, Химия.
8. Катаев Р.Ф. (2008) *Сварка пластмасс. Учебное пособие*. Екатеринбург, Изд-во УПИ.
9. Кораб Н.Г., Минеев Э.А. (2007) Критические замечания по способам сварки труб из термопластичных полимерных материалов. *Полимерные трубы – Украина*, 1, 53-55.

10. Grewell D., Benatar A.S. (2007) Welding of plastics: Fundamentals and New Developments. *International Polymer Processing XXII, Munich*.
11. Кимельблат В.И. (2014) Сварка ПЭ труб – тенденции развития. *Пластикс*, **6**, 38–43.
12. Каргин В.Ю., Ставская Т.В. (1999) К вопросу сварки полиэтиленовых труб ПЭ 63, ПЭ 80 и ПЭ 100. *Полимергаз*, **2**, 40–42.
13. Катаев Р.Ф. (2008) *Сварка пластмасс. Учебное пособие*. Екатеринбург, УПИ
14. Комаров Г.В., Гончаренко В.А. (2011) Новые технологии и оборудование для сварки полимерных материалов. Часть 1. *Полимерные материалы*, **1**, 18–22.
15. Шадрин А.А., Криваткин А.М. (1993) Сварка встык соединений композиционного материала ПА6-ЛТ-20. *Автоматическая сварка*, **1**, 42–44.
16. О'Коннор Крис (2012) Полиэтиленовые трубопроводы: как избежать дефектов сварки. *Газ России*, **3**, 48–58.
17. Шестопал А.Н., Кораб Г.Н., Васильев Ю.С. и др. (1990) *Справочник по сварке и склеиванию пластмасс*. Киев, Техника.
18. Гончаренко В.А. (1995) Плавление пластины из термопласта, прижатой к нагретому телу. *Новые материалы и технологии. Сб. тез. докл. Росс. НТК. «Композиционные, керамические, порошковые материалы и покрытия», 21–22 ноября 1995 г. Москва*. МГАТУ, сс. 32.
19. Akkurt Adnan (2013) An analysis of electro-melting and hot element welding methods' safety used to join PE natural gas pipes. *International Journal of electronics, mechanical and mechatronics*, **3**, 2, 493–504.
20. Кораб Г.Н., Вакулenco С.А., Савицкий А.А. (1986) Критерии выбора параметров при высокотемпературной сварке полиэтиленовых труб нагретым инструментом. *Автоматическая сварка*, **6**, 29–32.
21. Волков И.В., Кимельблат В.И. (2011) Роль реологических свойств ПЭ при выборе основных параметров сварки. *Вестник Казанского технологического университета*, **4**, 119–123.
22. Кимельблат В.И., Волков И.В., Глухов В.В. (2010) Оптимизация технологии контактной сварки встык. Учет свойств полимеров. *Полимерные трубы*, **2** (28), 32–36.
23. Старостин Н.П., Герасимов А.И. (2009) Сварка полимерных труб для газопроводов при низких температурах. *Нефтегазовое дело*, 25–27.
24. Прокопьев Н., Кимельблат В.И. (2015) Практические проблемы сварки полиэтиленовых труб. *Полимерные трубы*, **2** (8), 60–63.
25. Зуев М.А., Шешнев Д.А. (2014) Оборудование для сварки полиэтиленовых труб: опыт ремонта и обслуживания. *Газ России*, **2**, 74–75.
26. Нестеренко М.П., Гальчун А.М., Кондратенко В.Ю., Скок О.Г. (2013) Про ефективність використання обладнання з пневмоприводом для зварювання встык труб діаметром до 400 мм із кристаломорфних полімерів. *Доп. на міжнародній конференції «Зварювання та споріднені технології – сьогодні і майбутнє». Київ, 25–26 листопада 2013 р.*, сс. 47–48.
27. Stokes V. K. (1997) The hot-tool and vibration welding of acrylonitrile-butadiene-styrene. *Polymer Engineering and Science*, **37**, **4**, 372–377.
28. Stokes V. (2001) K. A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics. Part 3. *Polyetherimide. Polymer*, **4**, 775–792.
29. pipes. *Int. J. of Electronics, Mechanical and Mechatronics*, **3**(2), 493-504.
30. DSTU-N B V.2.5-40:2009: *Design and mounting of water-supply and sewerage systems from plastic pipes* [in Russian].
31. DBN V.2.5-41:2009: *Gas pipelines from polyethylene pipes. Design, construction* [in Russian].
32. Shestopal, A.N., Vasiliev, Yu.S., Tarasenko, O.V., Tarnogrodsky, V.P. (1990) *Reference book on welding and bonding of plastics*. Ed. by Shestopal, A.N., G.N. Korab. Kiev, Tekhnika [in Russian].
33. Volkov, S.S. (2001) *Welding and bonding of polymer materials*. Moscow, Khimiya [in Russian].
34. Kataev, R.F. (2008) *Welding of plastics*. In: *Manual*. Ekaterinburg, Izd-vo UPI [in Russian].
35. Korab, N.G., Mineev, E.A. (2007) Critical remarks on welding methods of pipes from thermoplastic polymer materials. *Polimernye Truby–Ukraina*, **1**, 53-55 [in Russian].
36. Grewell, D., Benatar, A.S. (2007) Welding of plastics: Fundamentals and new developments. *International Polymer Processing XXII, Munich*.
37. Kimelblat, V.I. (2014) Welding of PE pipes – tendencies of developments. *Plastics*, **6**(3), 38-43 [in Russian].
38. Kargin, V.Yu., Stavskaya, T.V. (1999) To problem of polyethylene pipes PE 63, PE 80 and PE 100. *Polimergaz*, **2**, 40-42 [in Russian].
39. Kataev, R.F. (2008) *Welding of plastics: Manual*. Ekaterinburg, UPI [in Russian].
40. Komarov G.V., Goncharenko, V.A. (2011) New technologies and equipment for welding of polymer materials. Pt 1. *Polimernye Materialy*, **1**, 18-22 [in Russian].
41. Shadrin, A.A., Krivatkin, A.M. (1993) Butt welding of joints of composite material PA6-LT-20. *Avtomatich. Svarka*, **1**, 42-44 [in Russian].
42. O'Konnor Kris (2012) Polyethylene pipelines: How to avoid defects of welding. *Газ России*, **3**, 48-58 [in Russian].
43. Shestopal, A.N., Korab, G.N., Vasiliev, Yu.S. (1990) *Reference book on welding and bonding of plastics*. Kiev, Tekhnika [in Russian].
44. Goncharenko, V.A. (1995) Melting of thermoplast plate pressed to heated body. New materials and technologies. In: *Abstr. of Papers of Russ. NTK. Direction: Composite, Ceramic, Powder Materials and Coatings (21-22 November 1995, Moscow)*. МГАТУ, **32** [in Russian].
45. Akkurt Adnan (2013) An analysis of electro-melting and hot element welding methods' safety used to join PE natural gas pipes. *Int. J. of Electronics, Mechanical and Mechatronics*, **3**(2), 493-504.
46. Korab, G.N., Vakulenko, S.A., Savitsky, A.A. (1986) Criteria of selection of parameters in high-temperature welding of polyethylene pipes by heated tool. *Avtomatich. Svarka*, **6**, 29-32 [in Russian].
47. Volkov, I.V., Kimelblat, V.I. (2011) Role of rheological properties in selection of main welding parameters. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Un-ta*, **4**, 119-123 [in Russian].
48. Kimelblat, V.I., Volkov, I.V., Glukhov, V.V. (2010) Optimization of technology of resistance butt welding. Taking into account the polymer properties. *Polimernye Truby*. **2**(8), 32-36 [in Russian].
49. Starostin, N.P., Gerasimov, A.I. (2009) Welding of polymer pipes for gas pipelines at low temperatures. *Neftgazovoe Delo*, 25-27 [in Russian].
50. Prokopiev, N., Kimelblat, V.I. (2015) Practical problems of welding of polyethylene pipes. *Polimernye Truby*. **2**(8), 60-63 [in Russian].
51. Zuev, M.A., Sheshnev, D.A. (2014) Equipment for welding of polyethylene pipes: Experience of repair and maintenance. *Газ России*, **2**, 74-75 [in Russian].
52. Nesterenko, M.P., Galchun, A.M., Kondratenko, V.Yu., Skok, O.G. (2013) On efficiency of application of equipment with pneumatic actuator for butt welding of up to 400 mm diameter pipes from crystal amorphous polymers. In: *Proc. of Int. Conf. on Welding and Related Technologies – Present and Future (Ukraine, Kyiv, 25-26 November 2013)*, 47-48.

References

1. Qi, F., Huo, L., Zhang, Y., Jing, H. (2004) Study on fracture properties of high-density polyethylene (HDPE) pipe. *Key Engineering Materials*, **283**, 153-158.
2. Leskovic, K., Kollar, M., Barczy, P. (2006) A study of structure and mechanical properties of welded joints in polyethylene pipes. *Mater. Sci. and Engin.*, **2**, 138-143.
3. Adnan, A. (2013) An analysis of electro-melting and hot element welding methods' safety used to join PE natural gas

27. Stokes, V.K. (1997) The hot-tool and vibration welding of acrylonitrile-butadiene-styrene. *Polymer Engineering and Science*, 37(4), 372-377.
28. Stokes, V. (2001) A phenomenological study of the hot-tool welding of thermoplastics. Pt 3: *Polyetherimide*. *Polymer*, 42, 775-792.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ СТЫКОВОЙ СВАРКИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ (Обзор)

М.В. Юрженко

ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Трубопроводы для транспортировки природного газа, холодного водоснабжения и водоотведения являются одним из наиболее значимых элементов городской и поселковой инфраструктуры. Трубопроводы из полимерных материалов, в частности, полиэтилена, являются современной альтернативой стальным трубопроводам, которые на протяжении 15–20 лет эксплуатации разрушаются под действием химической и электрохимической коррозии. В мире и в Украине, в частности, почти все новые разводные трубопроводы для газоснабжения, холодного водоснабжения и водоотведения строят из полиэтиленовых труб. Широкое применение в Украине, особенно в больших городах, получила практика замены старых изношенных стальных трубопроводов новыми полиэтиленовыми и реновации методом затягивания полиэтиленовой трубы в стальной трубопровод. Одним из самых технологичных методов соединения полиэтиленовых труб практически всего спектра внешних диаметров является сварка нагретым инструментом встык. Оборудование для этого метода сварки в настоящее время в Украине не производится. Импортные установки для стыковой сварки полиэтиленовых труб работают по давно разработанной и привычной технологической схеме, некоторые элементы которой, в связи с совершенствованием самих полимерных материалов, могут быть пересмотрены и упрощены при сохранении высокого качества конечных сварных соединений. Целью работы является обзор современного состояния в области стыковой сварки нагретым инструментом изделий из пластмасс, в первую очередь полиэтиленовых труб, и наиболее интересных с технологической точки зрения его модификаций. Библиогр. 28, рис. 5.

Ключевые слова: стыковая сварка нагретым инструментом, пластмассы, полиэтиленовые трубы

FEATURES OF TECHNOLOGY AND MODERN TRENDS IN THE FIELD OF BUTT WELDING OF POLYETHYLENE PIPES (Review)

M.V. Yurzhenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazimir Malevich Str., 03150 Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

Pipelines for the transportation of natural gas, cold water supply and drainage are one of the most significant elements of urban and rural infrastructure. Pipelines from polymeric materials, in particular polyethylene, are a modern alternative to steel pipelines, which during 15-20 years of operation are destroyed under the influence of chemical and electrochemical corrosion. In the world and in Ukraine, almost all new split pipelines for gas supply, cold water supply and drainage are built from polyethylene pipes. In Ukraine, especially in large cities, a practice of replacing old worn steel pipelines with new polyethylene and renovating using the method of tightening a polyethylene pipe into the steel pipeline has become widespread. One of the most technological methods of butt joining of polyethylene pipes of almost the whole range of outer diameters is welding with a heated tool. Equipment for this welding method is currently not manufactured in Ukraine. The imported installations for butt welding of polyethylene pipes operate according to a conventional technological scheme, developed a long time ago, some elements of which, due to the improvement of the polymeric materials itself, can be revised and simplified preserving the high quality of final welded joints. The aim of the work is to review the state of the art in the field of butt welding of plastic products, first of all, polyethylene pipes with the heated tool and its modifications, which are the most interesting from the technological point of view. 28 Ref., 5 Fig.

Keywords: butt welding with a heated tool, plastics, polyethylene pipes.

Поступила в редакцию 17.04.2019

Подписано к печати 04.04.2019. Формат 60×84/8. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 8,75. Усл.-отт. 9,04. Уч.-изд. л. 8,64.
Печать ООО «Фирма «Эссе».
03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.