В.В. Протів, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: protsiv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2269-4993>

В.У. Григоренко, д-р техн. наук, проф. кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства, e-mail: gvu135gvu@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1809-2842>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (Дніпро, Україна)

Особливості процесу експандування в технологіях виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто- та газопроводів

Системи трубопровідного транспорту є небезпечними техногенними об'єктами. Це визначає високий рівень вимог до труб для будівництва та ремонту трубопроводів. Забезпечення такого високого рівня технічних вимог може бути можливим на виробництвах з повним технологічним циклом і на спеціалізованому обладнанні. Після формування труб з листа і зварювання бокових торців листа в металі накопичуються залишкові напруження, що знижують надійність трубопроводів. Для забезпечення регламентованих геометричних параметрів труб і комплексу механічних властивостей метала труб на сучасних спеціалізованих трубних підприємствах усього світу проводиться операція калібрування-експандування на гідромеханічних експандерах.

Експандери створені для калібрування труб за зовнішнім діаметром і в тому числі на торцях труби, для зменшення кривизни готових труб, нівелювання остаточних напружень в основному металі труби, додаткового тестування якості зварювального шва, попереднього короткострокового випробування основного металу під час тангенціальних напружень вище межі плинності.

Характерними рисами та цілями використання процесу експандування є такі:

- застосування, якщо труба не підлягає подальшій нормалізації, загартуванню та відпуску або подальшій термообробці;
- виконання тільки на трубах, де є суцільний технологічний зварний шов;
- збільшення зовнішнього діаметра труби на 0,3–1,5 відсотка у встановлених у нормативній документації межах;
- покрововість збільшення діаметра труби уздовж всієї довжини труби;
- розташування зварного шва у виїмці сегмента експандера таким чином, щоб на нього не діяли радіально направлені сили, що прикладаються до основного металу труби;
- можливість обробляти сформовані труби зі зварним швом з товщиною стінки до 50 мм;
- виконання процесу експандування для кожної труби;
- застосування при виробництві магістральних труб для транспортування газу, а також нафти.

Ключові слова: магістральні трубопроводи, труби великого діаметра, формування, зварювання, експандування, залишкові напруження, технологічне обладнання, нормативна документація, надійність, пружна і пластична деформація, збільшення діаметра труби.

Вступ. Для будівництва систем магістральних нафто- і газопроводів застосовують зварені прямошовні труби великого діаметра. Системи трубопроводів відносяться до небезпечних техногенних об'єктів [1]. До магістральних трубопроводів висувають високі вимоги щодо забезпечення надійності та безпеки. Важливу роль при цьому має комплекс міцнісних і в'язкісних властивостей основного металу і зварних з'єднань труб, що забезпечує надійність і довговічність

експлуатації трубопроводів. Забезпечення необхідного регламентованого комплексу технічних вимог, що пред'являються до труб великого діаметра, вимагає здійснення їх виробництва за регламентованими стандартами і нормами – комплексними технологіями та на спеціалізованому промисловому устаткуванні.

Постановка задачі. Відомі наступні технології виробництва труб великого діаметра, що зараз застосовуються (рис. 1) [2].

Валкова

Формування листа на листогінній машині	Догибка кромок	Складання трубної заготовки з суцільним технологічним швом	Зварювання з зовнішньої та з внутрішньої поверхні уздовж суцільного технологічного шва	Калібрування діаметра – експандування	Гідровипробування
--	----------------	--	--	---------------------------------------	-------------------

Пресова

Покрокове формування кромок уздовж всієї довжини листа	Попереднє U-формування	Кінцеве O-формування	Складання трубної заготовки з суцільним технологічним швом	Зварювання з зовнішньої та внутрішньої поверхні уздовж суцільного технологічного шва	Калібрування діаметра – експандування	Гідровипробування
--	------------------------	----------------------	--	--	---------------------------------------	-------------------

Пресова покрокова. Варіант 1

J-формування кромок уздовж всієї довжини листа по першому та другому повздовжнім крайкам листа	Пресове покрокове J-формування на першій та другій половині листа	Складання трубної заготовки з суцільним технологічним швом	Зварювання з зовнішньої та внутрішньої поверхні уздовж суцільного технологічного шва	Калібрування діаметра – експандування	Гідровипробування
--	---	--	--	---------------------------------------	-------------------

Пресова покрокова. Варіант 2

Пресове покрокове J-формування на першій та другій половині листа	Доформовка кромок на доформовочній машині	Складання трубної заготовки з суцільним технологічним швом	Зварювання з зовнішньої та внутрішньої поверхні уздовж суцільного технологічного шва	Калібрування діаметра – експандування	Гідровипробування
---	---	--	--	---------------------------------------	-------------------

Рис. 1.

Технологічні операції при виробництві прямошовних зварних труб великого діаметра за різними схемами формовки

Незалежно від виду формування, нормативна документація на труби зварні прямошовні великого діаметра для нафто- та газопроводів регламентує проведення наступних технологічних операцій:

- зварювання суцільного технологічного шва;
- експандування;
- гідровипробування.

Під час проєктування нових і реконструкції магістральних трубопроводів і відводів від них діаметром до 1400 мм головним документом є СНиП 2.05.06-85* «Будівельні норми і правила. Магістральні трубопроводи» [3].

У проєктуванні трубопроводів враховуються механічні характеристики матеріалів труби та зварних з'єднань. До того ж визначають коефіцієнт надійності за матеріалом відповідно до таблиці 9 з СНиП 2.05.06-85* (табл. 1).

Для зварюваних труб, виготовлених із застосуванням двостороннього електродугового зварювання, передбачені коефіцієнти надійності 1,34; 1,4; 1,47; 1,55. Труби, що виготовлені із застосуванням дво-

стороннього електродугового зварювання під флюсом уздовж суцільного технологічного зварювального шва, мають підвищений коефіцієнт надійності 1,34 і 1,40 в порівнянні з трубами, що не мають суцільного технологічного зварювального шва.

Застосування суцільного технологічного зварювального шва перед двостороннім електродуговим зварюванням, а значить і забезпечення отримання труб з коефіцієнтом надійності 1,34 і 1,40, дозволяє не тільки підвищити надійність трубопроводу, а й скоротити металоємність трубопроводу, застосовувати труби з меншою товщиною стінки або класом міцності, або ж при однакових розмірах труб і класах міцності підвищити робочий тиск, що істотно скорочує витрати при будівництві.

Мета роботи. Надати обґрунтування необхідності виконання операції експандування під час виробництва зварюваних труб великого діаметра для нафтогазових трубопроводів.

Об'єкт та методика обґрунтування. Для забезпечення вимог до надійності зварюваних нафто-

Значення коефіцієнта надійності за матеріалом

№	Характеристика труб	Значення коефіцієнта надійності
1	Зварювані з малоперлітної й бейнітної сталі з прокатки, що контролюється, і термічно зміцнені труби, що виготовлені двостороннім електродуговим зварюванням під флюсом уздовж суцільного технологічного шва, з мінусовим допуском до товщини стінки не більш 5 % і що пройшли 100 % контроль на суцільність основного металу і зварних з'єднань неруйнівними методами	1,34
2	Зварювані з нормалізованої, термічно зміцненої сталі контрольованої прокатки, виготовлені двостороннім електродуговим зварюванням під флюсом уздовж суцільного технологічного шва, з мінусовим допуском до товщини стінки не більш 5 % і що пройшли 100 % контроль зварних з'єднань неруйнівними методами. Безшовні з катаної та кованої заготовки, що пройшли 100 % контроль неруйнівними методами	1,40
3	Зварювані з нормалізованої і гарячекатаної низьколегованої сталі, виготовлені з двостороннім електродуговим зварюванням і, що пройшли 100 % контроль зварних з'єднань неруйнівними методами	1,47
4	Зварювані з гарячекатаної низьколегованої чи вуглецевої сталі, виготовлені двостороннім електродуговим зварюванням чи токами високої частоти. Інші безшовні труби	1,55

Примітка. Допускається застосовувати коефіцієнти: 1,34 замість 1,40; 1,47 замість 1,55 для труб, що виготовлені двошаровим зварюванням під флюсом чи електрозварюванням токами високої частоти зі стінкам не більш ніж 12 мм при використанні спеціальної технології виробництва, що дозволяє отримати якість труб, відповідну даному коефіцієнту k_1 .

газопровідних труб великого діаметра сучасна нормативна документація (ДСТУ ISO 3183:2017, (ISO 3183:2012, IDT), API Spec 5L, СТО Газпром 2-4.1-713-2013, ГОСТ 20295-85, СНиП 2.05.06-85*, ГОСТ 31447-2012 [4–8]) регламентує проведення технологічної операції експандування (збільшення діаметра) за рахунок холодного деформування в межах від 0,3 до 1,5 відсотка, якщо не були застосовані операції термообробки труби. Обов'язковим є також проведення випробування труб внутрішнім гідравлічним тиском.

Результати. Випробування внутрішнім гідравлічним тиском проводять з метою перевірки міцності і щільності основного металу труб і зварних швів.

Гідравлічне випробування – необхідна процедура, яка свідчить про надійність труб як елементів трубопроводів, що працюють під тиском протягом усього терміну служби.

Експандери створені для наступних завдань.

Перше – для калібрування труб за зовнішнім діаметром після формування листа в трубу і створення зварувального шва між боковими торцями листа.

Друге – для зменшення кривизни труб після формування та зварювання.

Третє – для нівелювання остаточних напружень в металі, що з'явилися під час формування листа в трубу та з'єднання бокових торців листа зварюванням.

Четверте – для додаткового (перед випробуванням на гідравлічному пресі) тестування якості зварувального шва.

П'яте – для попереднього короткострокового випробування основного металу під час тангенціальних напружень вище межі плинності.

Калібрування труб по зовнішньому діаметру (і в тому числі на торцях труб) та зменшення кривизни труб має забезпечувати значення відхилень діаметра і кривизни відповідно до допустимих значень технічних стандартів і норм.

Нівелювання внутрішніх напружень у металі труб, що з'явилися при формуванні листа, потрібне для забезпечення надійності роботи трубопроводів.

Короткострокове тестування якості шва, а також випробування металу під час тангенціальних напружень вище межі плинності потрібне для недопущення попадання до трубопроводів окремих труб з неякісним металом. Під час поставок листа на трубні виробництва, проби для технічних випробувань беруться від одного листа з кожної плавки, а сертифікати видаються на всі листи плавки. Експандування ж виконується для кожної труби.

Процес експандування проводять уздовж всієї довжини труби покроково та з перекриттям попереднього кроку. При цьому збільшують діаметр труби на задану величину в межах від 0,3 до 1,5 %. Збільшення діаметра труби виконують за рахунок радіального переміщення сегментів головки експандера. Переміщення сегментів головки у свою чергу виконується під час переміщення клинів, що також розташовані у головці експандера (рис. 2) [2].

Принцип покрокового експандування дає можливість значно знизити силу, що потрібна для роздавання труби, оскільки деформують лише частину довжини труби. При цьому, відповідно, потрібні і менші сили на переміщення сегментів та клинів. Клини у свою чергу здійснюють переміщення від гідравлічного циліндра.

Такі гідромеханічні експандери дають можливість обробляти сформовані труби зі зварним швом з товщиною стінки до 50 мм [2].

Між циліндричною поверхнею сегментів головки експандера та внутрішньою поверхнею труби при розширенні труби відбувається ковзання. До того ж, в напрямку від центральної осі труби до її внутрішньої поверхні діють сили, за рахунок яких відбувається пластична деформація металу і, відповідно, збільшення діаметра труби.

Рис. 2. Загальний вигляд труби великого діаметра в експандері: а – підготовка труби до операції; б – операція експандування; в – розташування зварного шва; 1 – передній кінець труби; 2 – головка експандера [2]

Таблиця 2

Експериментальні значення залишкових напружень в фрагменті труб великого діаметра класу міцності K60

Відстань до зварювального шва	Типорозмір труб $D_T \times S_T$, мм			
	1420×12		1020×26	
	$\sigma_{ост}$, МПа	$\sigma_{ост} / \sigma_T$	$\sigma_{ост}$, МПа	$\sigma_{ост} / \sigma_T$
Центр зварного шва	+ 220	~ 0,5	+ 150	~ 0,3
Т. 2 на відстані 24 мм	+ 40	0,09	+ 45	0,1

Для зменшення сили тертя перед експандуванням, на поверхню сегментів експандера подають мастильно-охолоджуючу рідину.

Після зняття навантаження і відведення сегментів у напрямку центральної вісі труби, відбувається розвантаження пружної складової, що була присутня при пружно-пластичному деформуванні при збільшенні діаметра труби. При цьому зовнішній діаметр труби і стінка незначно зменшується з причини пружного розвантаження.

Зварний шов розташовується у вертикальній площині в спеціальній виїмці на інструменті експандера. Це зроблено для того, щоб зварний шов не контактував з сегментом експандера та не був навантажений радіальною силою зі сторони сегмента (див. рис. 2) [2]. Це забезпечує відсутність силового впливу сегмента на внутрішнє посилення зварного шва.

В роботі [2] показано на основі експериментальних досліджень, що на інших ділянках труби крім зони шва напруження, що розтягують, в результаті експандування збільшуються, однак після завершення операції калібрування-експандування величина $+\sigma_{ост}$ тільки зменшується (табл. 2) [2].

Експериментальні дані, які наведено в табл. 2, виконані за методикою [9] та показують ефективність експандування – значення остаточних напружень в металі труби дорівнюють близько 0,1 межі текучості.

У пунктах 8.2 і 8.9 ДСТУ ISO 3183:2017 і API Spec 5L зазначено, що якщо труба не піддається подальшій нормалізації, загартуванню та відпуску або подальшій термообробці, то для зняття напружень має

бути проведено експандування. При цьому відносне збільшення діаметра труби (коефіцієнт s_γ) повинно бути в межах від 0,003 до 0,015.

Коефіцієнт відносного збільшення діаметра звареної труби s_γ розраховується, виходячи з периметра труби до деформації (експандування) і після за такою формулою [4, 5]:

$$s_\gamma = \frac{|D_a - D_b|}{D_b}, \quad (1)$$

де D_a – зовнішній діаметр після деформації, що задається виробником, мм; D_b – зовнішній діаметр до деформації, що задається виробником, мм; $|D_a - D_b|$ – абсолютне значення різниці зовнішніх діаметрів до і після експандування, мм.

Таким чином, для одного і того ж сортаменту труб без експандування і з експандуванням ширина товстистового прокату відрізняється. Для експандованих труб вихідна ширина листа визначається за формулою:

$$B = \pi \frac{D_a - S}{1 + s_\gamma}, \quad (2)$$

де $\pi = 3,1416$; B – ширина листа, мм; S – товщина стінки труби, мм.

А для не експандованих вихідна ширина листа визначається за формулою:

$$B = \pi (D_a - S), \quad (3)$$

де $\pi = 3,1416$; B – ширина листа, мм; S – товщина стінки труби, мм.

Наприклад, для труби розміром 1020×16 мм з відносним збільшенням зовнішнього діаметра експандуванням на 0,8 % (коефіцієнт $s_y = 0,008$) ширина листа складе 3129 мм, а без експандування – 3154 мм [2].

Таким чином, думка про те, що експандування це тільки калібрування трубної заготовки, помилкова, тому що при експандуванні присутня пластична деформація по всьому об'єму металу (за винятком шва) і відбувається збільшення периметра труби до потрібного діаметра.

На кожній операції технологічного процесу виробництва у зварюваних трубах відзначається поява залишкових напружень $\sigma_{ост}$, оскільки процеси пластичної формозміни відбуваються в холодному стані [10].

Слід прийняти до уваги і неоднорідність властивостей вихідного металу листа. Це є одним з факторів, що впливає на конструкційну міцність труби. Це підвищує ймовірність виникнення локальних напружень. Слід прийняти до уваги і деформаційне старіння.

Формування труб виконують гнбкою зі сталевих листа. При згинанні штампом на двох опорах від зовнішньої поверхні листа до нейтральної лінії метал зазнає нерівномірні (на зовнішній поверхні – максимальні, а на нейтральній лінії – рівні нулю) деформації розтягування і від внутрішньої поверхні до нейтральної лінії деформації стиснення. В областях, прилеглих до нейтральної лінії, відбуваються тільки пружні деформації. В інших частинах металу відбувається пластична деформація спільно з пружною. При цьому частка пружної деформації незначна в порівнянні з пластичною. Аналогічно в металі діють і напруження, що виникають від зусиль навантаження.

Після пружного розвантаження металу (після зняття дії сил вигину), виникають залишкові напруження різних знаків (стиснення і розтягування) внаслідок нерівномірного розвантаження частин нерівномірно деформованого металу. Також слід сказати, що ці напруження складаються з внутрішніми напруженнями в металі листа.

Під час експандування відбувається алгебраїчне складення напружень під впливом сил від роздавання діаметра труби і залишкових напружень. Під час розвантаження після закінчення експандування залишаються також остаточні напруження.

Важливим питанням є визначення величин остаточних напружень, що з'явилися після розвантаження – закінчення процесу експандування. Ці остаточні напруження будуть складатися з напруженнями тиску середовища газу чи нафти.

Цікавими на сьогоднішній день є дослідження за допомогою кінцево-елементного моделювання напружено-деформованого стану металу готових труб після експандування [2]. Показано, що на ділянках труби з більшою нерівномірністю напружено-деформованого стану металу труб відмічається збільшення діаметра і овальності труби щодо середнього значення.

В цій роботі [2] також за методикою [9] оцінили величини залишкових напружень після експандування труб, виготовлених на ТЕСА 1020 і ТЕСА 1420. Переконаливо

підтверджується нерівномірний характер розподілу напружено-деформованого стану в поперечному перерізі зварних труб великого діаметра – в звареному шві $\sigma_{ост}$ досягають величини + 220 МПа (схема JOE) і + 150 МПа (схема UOE), що становить від 0,3 до 0,4 σ_r , тоді як в металі труби $\sigma_{ост}$ становить від 40 МПа до 45 МПа (див. табл. 2). Таким чином значення $\sigma_{ост}$ дорівнює від 40 МПа до 45 МПа і становить близько 0,1 межі плинності металу труб.

Нижче представлений далеко не повний перелік провідних світових виробників труб великого діаметра, які застосовують в технологічному процесі операцію експандування:

- Харцизький трубний завод (Україна, тимчасово не контролювана територія);
- «Укртрубоізол» (Україна);
- Berg Steel Pipe Corporation (США);
- Salzgitter Mannesmann GmbH, Europipe (Німеччина, Франція);
- EEW-Bergrohr GmbH (Німеччина);
- Cimolai (Італія);
- Hi-Steel (Корея);
- Umran (Туреччина);
- Julong / P.R. (Китай);
- Загорський трубний завод (Росія);
- Волзький трубний завод (Росія);
- Іжорський трубний завод (Росія);
- Челябінський трубопрокатний завод (Росія);
- Вексунський трубний завод (Росія).

Обговорення результатів. В Україні роботу з напругу виготовлення труб для магістральних трубопроводів провів ТОВ НВП з іноземними інвестиціями «Укртрубоізол» [11, 12, 13, 14]. У 2019–2021 рр. на підприємстві проведено реконструкцію. Встановлено і введено в експлуатацію нову лінію з виробництва сталевих прямошовних труб діаметром від 406,4 мм до 1422 мм, що виробляються зі сталі класу міцності від К34 до К60.

Технологію виробництва на підприємстві «Укртрубоізол» представлено на рис. 1 (Пресова покровока. Варіант 2). Це передбачає повний технологічний цикл виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто- і газопроводів, в тому числі:

- зварювання суцільного технологічного шва;
- експандування;
- гідровипробування.

Експандування включене в загальні технічні вимоги до нафтогазопровідних труб великого діаметра [15]. Основні положення цих технічних вимог гармонізовані з API Spec 5L та з ISO 3183-3 [14].

Сучасні експандери, хоча і є складним і дорогим технологічним обладнанням, дозволяють виробляти труби у контрольованих межах, забезпечуючи максимальну рівномірність розподілу деформуючого зусилля на периметрі й довжині заготовки з обов'язковим регламентованим збільшенням діаметра труби.

Висновки та перспективи дослідження

Науково-технічні розробки стосовно експандування додають конкретні кроки у допомозі технологам, які розробляють технології виробництва нафтога-

зопровідних труб великого діаметра (ТВД) для магістральних трубопроводів.

Питання організації виробництва нафто- і газопровідних ТВД вимагає усвідомлення відповідальності у забезпеченні необхідного рівня якості з боку всіх учас-

ників процесу – споживачів, виробників, органів оцінки контролю відповідності законодавчим вимогам, органів державного контролю, наукових організацій, що здійснюють технологічний супровід виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. Учебное пособие. М.: ИЦ «Елима», 2004. 1104 с.
2. Коликов А.П., Звонарев Д.Ю., Галимов М.Р. Оценка напряженно-деформированного состояния металла на основе математического моделирования при производстве труб большого диаметра. *Черная металлургия*. 2017. Том 60. № 9. С. 706–712.
3. СНиП 2.05.06-85* Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы / Госстрой России. 60 с.
4. ДСТУ ISO 3183:2017 Нафтова та газова промисловість. Труби сталеві для трубопровідних транспортних систем (ISO 3183:2012, IDT).
5. API Specification 5L Line Pipe, Forty-Sixth Edition. URL: <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard-5l>
6. СТО Газпром 2-4.1-713-2013 Технические требования к трубам и соединительным деталям. URL: <https://elima.ru/docs/?id=9647>
7. ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200002056>
8. ГОСТ 31447-2012 Трубы стальные сварные для магистральных газопроводов, нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. Технические условия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103347>
9. Kolikov A.P., Leletko A.S., Matveev D.V. et al. Stress in welded pipe. *Steel in Translation*. 2014. Vol. 44. No. 11. P. 808–812.
10. Коликов А.П., Лелетко А.С., Матвеев Д.Б., Кулютин С.А. Кадильников С.В. Исследование остаточных напряжений в сварных трубах. *Черная металлургия*. 2014. Том 57. № 11. С. 48–53.
11. О компании НПП Укртрубоизол. URL: <https://uti.ua>
12. Виробництво труб – НВП Укртрубоизол. URL: <https://uti.ua/virobnitstvo-trub/>
13. Лоскутов О.Ю., Овсяников В.В., Проців В.В., Григоренко В.У. Процес експандування в технологіях виробництва труб великого діаметра для магістральних нафто- і газопроводів та металознавчі аспекти його використання. Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет». *Збірник наукових праць НГУ*. 2021. № 65. С. 99–106. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.099>
14. Производство труб – НПП УКРТРУБОИЗОЛ. URL: https://uti.ua/ru/trubi_stalnie/
15. Головин С.В. Введение в действие общих технических требований на нефтепроводные трубы большого диаметра Материалы 5-той научно технической конференции «Современные тенденции производства труб для магистральных газонефтепроводов на ОАО «Харьковский трубный завод». 2005. 24–27 мая 2005 г. С. 20–26.

Надійшла 10.08.2021

REFERENCES

1. Mazur, I.I., Ivantsov, O.M. (2004). Pipeline safety. Manual. Moscow: ITs "Elima", 1104 p. [in Russian].
2. Kolykov, A.P., Zvonarev, D.Yu., Halymov, M.R. (2017). Assessment of the stress-strain state of metal based on mathematical modeling in the production of large diameter pipes. *Ferrous metallurgy*, vol. 60, no. 9, pp. 706–712 [in Russian].
3. SNyP 2.05.06-85* Building codes and regulations. Trunk pipelines. Gosstroy of Russia, 60 p. [in Russian].
4. DSTU ISO 3183:2017 Oil and gas industry. Steel pipes for pipeline transport systems (ISO 3183:2012, IDT) [in Ukrainian].
5. API Specification 5L Line Pipe, Forty-Sixth Edition. URL: <https://www.api.org/products-and-services/standards/important-standards-announcements/standard-5l>
6. STO Gazprom 2-4.1-713-2013 Technical requirements for pipes and fittings. URL: <https://elima.ru/docs/?id=9647> [in Russian].
7. GOST 20295-85 Welded steel pipes for main gas and oil pipelines. Technical conditions. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200002056> [in Russian].
8. GOST 31447-2012 Welded steel pipes for main gas pipelines, oil pipelines and oil product pipelines. Technical conditions. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103347> [in Russian].

9. Kolikov, A.P., Leletko, A.S., Matveev, D.V. et al. (2014). Stress in welded pipe. *Steel in Translation*, vol. 44, no. 11, pp. 808–812.
10. Kolykov, A.P., Leletko, A.S., Matveev, D.B., Kuliutyn, S.A. Kadylnykov, S.V. (2014). Investigation of residual stresses in welded pipes. *Ferrous metallurgy*, vol. 57, no. 11, pp. 48–53 [in Russian].
11. About the company NPP Ukrtruboizol. URL: <https://uti.ua> [in Russian].
12. Production of pipes – SPE Ukrtruboizol. URL: <https://uti.ua/virobnitstvo-trub/> [in Ukrainian].
13. Loskutov, O.Yu., Ovsyanikov, V.V., Protsiv, V.V., Hryhorenko, V.U. (2021). Process of expansion in production technologies of large diameter pipes for main oil and gas pipelines and metal scientific aspects of its use. *Collection of scientific works of NMU*, no. 65, 99–106, doi: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.099> [in Ukrainian].
14. Pipe production – NPP UKRTRUBOIZOL. URL: https://uti.ua/ru/trubi_stalnie/ [in Russian].
15. Holovyn, S.V. (2005). Implementation of the general specification for large diameter non-conductive pipes. "Modern trends in the production of pipes for gas and oil trunk lines at OJSC "Khartsyzsk pipe plant". May 24–27, 2005, pp. 20–26 [in Russian].

Received 10.08.2021

Summary

V.V. Protsiv, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department of Materials Science and Mechanical Engineering Technologies,
e-mail: protsiv@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-2269-4993>

V.U. Hryhorenko, Dr. Sci. (Engin.), Professor of the Department of Materials Science and Mechanical Engineering Technologies, e-mail: gvu135gvu@i.ua,
<https://orcid.org/0000-0002-1809-2842>

Dnipro University of Technology (Dnipro, Ukraine)

Features of the expansion process in the technology of production of large diameter pipes for main oil and gas pipelines

Pipeline transport systems are dangerous man-made objects. This determines the high level of requirements for pipes for construction and repair of pipelines. Ensuring such a high level of technical requirements may be possible in productions with a full technological cycle and on specialized equipment. After forming the pipes from the sheet and welding the side ends of the sheet residual stresses that reduce the reliability of the pipelines accumulate in the metal. To ensure the regulated geometrical parameters of pipes and the complex of mechanical properties of metal pipes at modern specialized pipe enterprises around the world, a calibration-expansion operation is performed on hydromechanical expanders.

Expanders are designed to calibrate pipes by outer diameter and fatigue number at the ends of the pipe, to reduce the curvature of the finished pipes, leveling the final stresses in the main metal of the pipe, additional testing of weld quality, preliminary short-term testing of base metal at tangential stresses above the flow limits.

Characteristic features and purposes of using the expansion process are as follows:

- application, if the pipe is not subject to further normalization, hardening and tempering or further heat treatment;
- execution only on pipes, where there is a continuous technological weld;
- increase in the outer diameter of the pipe by 0.3–1.5 percent within the limits set in the regulatory documentation;
- stepwise increase in the diameter of the pipe along the entire length of the pipe;
- the location of the weld in the recess of the segment of the expander so that it is not affected by radially directed forces applied to the base metal of the pipe;
- the ability to process the formed pipes with a weld with a wall thickness of up to 50 mm;
- execution of the expansion process for each pipe;
- use in the production of main pipes for the transportation of gas and oil.

Keywords

Main pipelines, large diameter pipes, forming, welding, expansion, residual stresses, technological equipment, normative documentation, reliability, elastic and plastic deformation, increase of pipe diameter.