

УДК 621.774.63

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ НАВИВАННЯ ТРУБНОЇ ЗАГОТОВКИ ПРИ ВИГОТОВЛЕНІ СПІРАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ

Орлюк М.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

Анотація: Проведено дослідження процесу виготовлення спіральних поверхонь нагріву підігрівачів високого тиску навіванням на гладку оправку методом скінчених елементів за допомогою програмного продукту *Deform-3D* з наступною експериментальною перевіркою отриманих результатів. Показано, що найкраща відповідність експериментальних досліджень та результатів моделювання спостерігається лише при застосуванні пружно-пластичної моделі вихідної заготовки. Використання ж пластичної моделі не дозволяє прогнозувати фактичні параметри овалізації труби при згинанні. Підтверджено, що чисельне моделювання з застосуванням пружно-пластичної моделі матеріалу може використовуватись для удосконалення процесу навівання спіральних поверхонь з метою зменшення небажаної овалізації трубною заготовкою без використання витратних експериментальних перевірок.

Ключові слова: спіральна поверхня; навівання; овалізація; труба; метод скінчених елементів; критерій руйнування

Основним елементом підігрівачів високого тиску (ПВТ) є одно та двоярусні спіральні поверхні нагріву, виготовлені із трубною заготовкою. Працюють вони, як правило, при високих температурах і тисках. Номенклатура спіральних поверхонь дуже велика, однак найскладнішими у виготовленні є двоярусні спіральні поверхні (рис.1).

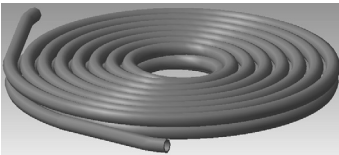


Рис. 1 - Двоюрисна спіральна поверхня нагріву

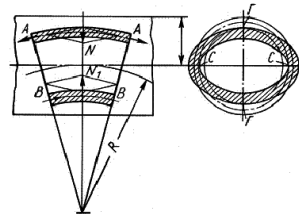


Рис. 2 - Схема овалізації труби при згинанні

Відповідно до ГОСТ 9842-61 для криволінійних ділянок трубопроводів обмежується овальність (рис. 2), яка утворюється при згинанні.

Для трубопроводів високого тиску, де навантаження пульсуюче, спостерігаються випадки появи найдрібніших тріщин, які супроводжуються витокami продукту. Тріщини з'являються в двох ділянках згину, а саме в точках Г-Г і С-С (рис. 2), причому в більшості випадків в точках С.

Руйнування металу в точках С-С відбувається тому, що в результаті більш значних деформацій у цих місцях через зміни радіуса кривизни і більшої товщині виникають більші залишкові напруження. Коли труба знаходиться під тиском, вона прагне прийняти круглу форму, і радіус кривизни в точках С-С збільшується, а в точках Г-Г зменшується, що викликає в металі напруги того ж знака, що і залишкові напруження.

Тому основним фактором, що послаблює трубу, є її овалізація. При збільшенні овалізації міцність трубопроводу, призначеного для транспортування продукту при пульсуючому навантаженні, зменшується. Максимальний ступінь овалізації залежить від режимів в яких працює трубопровід.

Для трубопроводів, таких як поверхні нагріву ПВТ, що працюють при високих тисках та температурах, ступінь овалізації не має перевищувати 10%.

Овальність перерізу [1, 2] визначається за формулою:

$$A = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де D_{\max} , D_{\min} - найбільший і найменший зовнішні діаметри труби, що вимірюються в одному контрольному перерізі; D_n - номінальний зовнішній діаметр труби.

Спіральні поверхні, які виготовляються з трубної заготовки діаметром 32 мм з товщиною стінки 4...5 мм та мають внутрішній діаметр від 160 мм, відповідно до рекомендацій [1, 2] можуть бути виготовлені вільним навиванням на гладку оправку без втрати стійкості трубної заготовки. Але за такого способу складно впливати на овалізацію труби в процесі згинання. Для попередньої оцінки можливості формоутворення спіральної поверхні та овалізації труби було проведено моделювання процесу утворення центрального витка спіралі (як найбільш навантаженого) в програмному комплексі DEFORM. Схема процесу представлена на рис. 3. Моделювання велось як для пластичної, так і для пружно-пластичної вихідної заготовки.

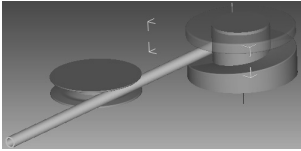
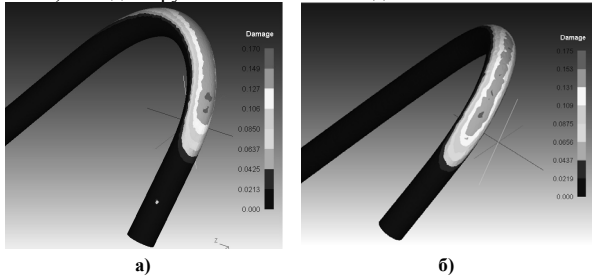


Рис. 3 - Схема навивання першого витка двоярусної спіралі

Результати моделювання (рис. 4) показали можливість утворення спіралі без втрати стійкості заготовки та руйнування.

Максимальне значення нормалізованого критерію руйнування Cockroft & Latham для пластичної заготовки склало 0,17, для пружно-пластичної – 0,175, що не перевищує критичних значень 0,55...0,6 (для схем напруженого стану, близьких до лінійної [3, 4]).

Також результати моделювання показали суттєве спотворення (овалізацію) поперечного перерізу трубчатой заготовки в місці згину (рис. 5, 6).



а)

б)

Рис. 4 - Розподіл критерію руйнування при навиванні: а – пластична заготовка; б – пружно-пластична заготовка

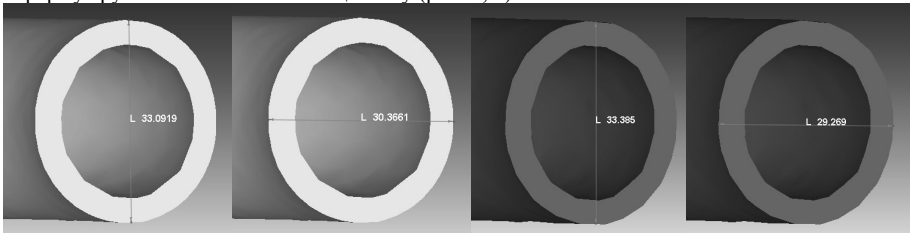


Рис. 5 - Овалізація пластичної заготовки

Рис. 6 - Овалізація пружно-пластичної заготовки

Як видно з рисунків, овалізація труби за результатами моделювання залежить від прийнятої моделі матеріалу вихідної заготовки. Для пластичної заготовки овалізація сягає 8,5%, для пружно-пластичної – 12,9%. Оскільки пружно-пластична модель краще відтворює реальні умови деформування, то отримані результати сигналізують про ймовірність

невідповідності виготовлених виробів за даною технологією вимогам ГОСТ та необхідність удосконалення технології.



Рис. 7 - Експериментальний зразок двоярусної спіралі

У той же час існує ймовірність того, що результати комп'ютерного моделювання можуть не відповідати результатам реального деформування. Тому для встановлення даної відповідності було спроектоване експериментальне оснащення для вільного навівання спіралей та виготовлено експериментальний зразок (рис. 7). Фактична овалізація труби центрального витка спіралі, виготовленою вільним навіванням на гладку оправку, знаходиться в межах 13...14%.

Результати натурного експерименту підтвердили, що моделювання процесу формоутворення спіралі в

DEFORM може бути використане для прогнозування якості виготовлення даного виробу та удосконалення технології виготовлення, але за умови використання пружно-пластичної моделі матеріалу вихідної заготовки.

Investigation of the process of winding a pipe billet in the manufacture of spiral heating surfaces Orliuk M.V.

Abstract. A study was made of the process of manufacturing spiral heating surfaces of high-pressure heaters by winding on a smooth mandrel using the finite-element method using the software product Deform-3D with subsequent experimental verification of the results obtained. It is shown that the best agreement between experimental studies and simulation results is observed only when applying the elastic-plastic model of the original preform. The use of the plastic model does not allow to predict the actual parameters of the pipe ovalization during bending. It has been confirmed that numerical modeling using an elastic-plastic model of a material can be used to improve the process of winding spiral surfaces in order to reduce unwanted ovalization of tubular billet without the use of costly experimental checks.

Keywords: spiral surface; winding; ovalization; trumpet; finite element method; fracture criterion.

Исследование процесса навивки трубной заготовки при изготовлении спиральных поверхностей нагрева Орлюк М.В.

Аннотация. Выполнено исследование процесса изготовления спиральных поверхностей нагрева нагревателей высокого давления навивкой на гладкую оправку методом конечных элементов с помощью программного продукта Deform-3D с последующей экспериментальной проверкой полученных результатов. Показано, что наилучшее соответствие экспериментальных исследований и результатов моделирования наблюдается лишь при применении упруго-пластической модели исходной заготовки. Использование же пластической модели не позволяет прогнозировать фактические параметры овализации трубы при изгибе. Подтверждено, что численное моделирование с применением упруго-пластической модели материала может использоваться для усовершенствования процесса навивки спиральных поверхностей с целью уменьшения нежелательной овализации трубной заготовки без использования затратных экспериментальных проверок.

Ключевые слова: спиральная поверхность; навивка; овализация; труба; метод конечных элементов; критерий разрушения

Список літератури

1. Гуткин С.Т., Гамус М.З. Бездорновая гибка труб. – Л.: ВПТИЭнергомаш, 1969. – 233 с.
2. Мосин Ф. В. Технология изготовления деталей из труб. – М.: Машгиз, 1962. – 174 с.
3. Орлюк М.В. Граничні значення критеріїв руйнування при моделюванні процесів витягування в середовищі DEFORM // Обробка матеріалів давлением: сборник научних трудов. – Краматорск: ДГ МА, 2017. – № 2(45). – С. 22-29. – Режим доступу: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2\(45\)_2017/article/6.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/omd/omd_2(45)_2017/article/6.pdf), <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27990>
4. Орлюк М.В. Определение предельных степеней деформаций при компьютерном моделировании процесса вытяжки / Стеблюк В.И., Орлюк М.В., Холявик О.В., Сопруненко В.Р. // Scientific proceedings III international scientific congress "Innovations". - Varna, Bulgaria. - 2017. - № 1. - S. 233-236 – Режим доступу: <http://innova-eng.eu/proceedings/2017/57.TEHOLOGIES%20AND%20MODULATED%20EQUIPMENT%20USED%20FOR%20OBTAINING%20COMPOSITE%20MATERIALS.pdf>