

Ленок А. А., канд. техн. наук Обдул В. Д., Виновец О. В.  
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУТОЗАГНУТИХ ВІДВОДІВ

**Мета роботи.** Дослідження особливостей технологічного процесу виготовлення криволінійних ділянок трубопроводу – крутозагнутих відводів.

**Методи дослідження:** тривимірне моделювання конструкції оснащення та готового виробу; експериментальні дослідження технології виготовлення крутозагнутих відводів методом прошивування через криволінійний отвір складальної матриці без використання наповнювачів; оцінка деформації методом діляльних сіток.

**Отримані результати.** Проаналізовано літературні джерела та визначено основні проблеми, які виникають при виготовленні крутозагнутих відводів для кожного методу. Для дослідження особливостей технології виготовлення досліджуваним методом змодельована тривимірною моделлю складальної матриці, обрано конструкцію, розміри та матеріал оснащення. Виготовлено оснащення. Обрано розміри та матеріал трубних заготовок. Визначено операції технології виготовлення крутозагнутих відводів методом прошивування через криволінійний отвір складальної матриці без використання наповнювачів.

Проведено експериментальні дослідження технології. Для цього виготовлений штамп встановлювався на гідравлічний прес ПГ-100А. Трубна заготовка розміщувалась у направляючій втулці, пригвинченій до складальної матриці при розміщенні штока пресу у верхньому положенні. Пуансон прошивував трубну заготовку вздовж криволінійного отвору складальної матриці при русі штока вниз. По завершенню процесу прошивування шток преса розміщувався у верхньому положенні. Для безперешкодного зняття готового виробу знімали направляючу втулку, матрицю розгвинчували та виймали із затискачів.

Отримано декілька зразків, виявлено наявність дефектів та проблем, які виникли в процесі формоутворення крутозагнутих відводів. Оцінку деформації заготовок виконано за допомогою методу діляльних сіток.

**Наукова новизна.** Набув подальшого розвитку метод виготовлення крутозагнутих відводів шляхом прошивування через криволінійний отвір складальної матриці. Особливість досліджуваної технології – відмова від використання дороговартісного наповнювача чи жорстких оправок, скорочення технологічних операцій та часу на виготовлення одиниці готового виробу. В результаті проведеного дослідження були виявлені небезпечні зони трубних заготовок в процесі виготовлення крутозагнутих відводів: місце згину (зім'яття, гофроутворення, розрив) та торці готового виробу на виході (овалізація, спотворення, розриви).

**Практична цінність.** Для запобігання виникнення небезпечних зон при деформації трубних заготовок та підвищення якості одержуваних готових виробів сформульовано вимоги щодо конструкції робочих елементів розробленого штамп, вибору оптимальних режимів процесу формоутворення, матеріалу та оптимальної форми трубної заготовки.

**Ключові слова:** технологія виготовлення, трубна заготовка, крутозагнутий відвід, прошивування, складальна матриця, небезпечні зони.

### Вступ

Трубопровід – це складна інженерна споруда систем газо- та водопостачання, що використовується для транспортування рідких та газоподібних речовин під впливом тиску або природних ландшафтно-геодезичних особливостей. Частина елементів трубопроводу, зокрема крутозагнуті відводи, замінюються в процесі експлуатації.

Перебування в складних, важких і багатофакторних умовах навантаження приводить до критичного

зношення та руйнування крутозагнутих відводів та, відповідно, трубопроводу. Це становить значну небезпеку для навколишнього середовища та значні матеріальні втрати в силу тривалих вимушених простоїв трубопроводів.

Тому створення нових або удосконалення існуючих технологічних процесів виготовлення крутозагнутих відводів та обладнання для їх виробництва є актуальним науково-технічним завданням.

**Аналіз літературних джерел**

Існує ряд відомих методів та пристроїв для формотворення крутозагнутих відводів: гаряче протягування трубної заготовки через рогоподібне осердя, штампування з трубної заготовки або з листа, прошовхування трубної заготовки через філь'єру з внутрішнім наповнювачем, гнуття в гарячому і холодному станах, гнуття труб зі струмом високої частоти, лиття [1].

Поряд з перевагами ці методи мають також і недоліки пов'язані з технологією виготовлення крутозагнутих відводів та з конструкцією пристроїв для її реалізації [2]. До основних проблем виготовлення крутозагнутих відводів для кожного методу можна віднести наступні:

1. Висока собівартість виготовлення (високі трудомісткість та енерговитрати);
2. Низька якість та продуктивність виготовлення відводів;
3. Обмежений вибір типорозмірів виготовлених відводів;
4. Різновтовщинність стінки по перерізу незалежно від радіуса гнуття відводу;
5. Виготовлення відводів з малим радіусом гнуття та невеликою товщиною стінки;
6. Утворення овалізації кінцевих ділянок відводу;
7. Утворення складок (гофр, тріщин) металу на внутрішній кромці відводу.

Широке застосування як на вітчизняних, так і на закордонних підприємствах знаходить метод прошовхування трубної заготовки через філь'єру матриці з криволінійною віссю, який виконується на універсальному обладнанні [3, 4]. Дослідженню цього методу

присвячені наукові праці Попова І. П., Маслова В. Д., Ніколенко К. А., Кудряшова О. О., Ербейгеля С. А. та ін.

На основі цього методу розроблена корисна модель штампа, схема якого показана на рисунку 1 [5]. Особливість конструкції цього штампу – це обов'язкове використання наповнювача, жорсткої оправки, дорнів або вставок, що призводить до підвищення собівартості готових виробів, (рисунк 1, позиції 7 і 8). Поліуретан, у якості наповнювача, має невисоку стійкість та вимагає постійного оновлення, а його вартість значно перевищує номінальну вартість інструментальних сталей [6]. Жорсткі оправки, різноманітні дорни в ході експлуатації теж швидко зношуються та потребують постійної заміни.

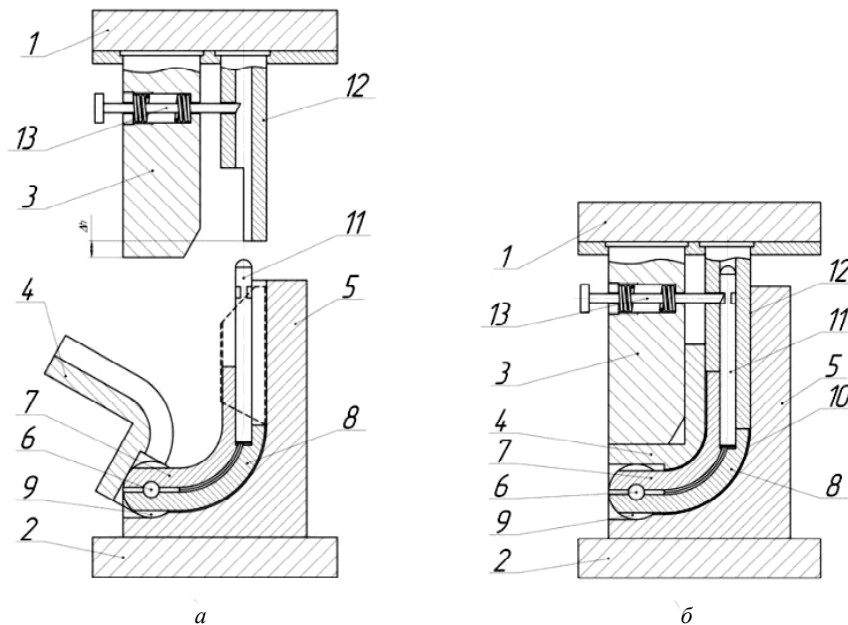
Виходячи з цього сформульована мета роботи, яка полягає у дослідженні особливостей технології виготовлення крутозагнутих відводів методом прошовхування через криволінійний отвір складальної матриці без використання наповнювачів.

**Постановка задачі**

Для досягнення мети сформульовані наступні задачі:

1. Розробка тривимірної моделі складальної матриці;
2. Вибір конструкції, розмірів та матеріалу оснащення;
3. Виготовлення оснащення;
4. Вибір розмірів, матеріалу трубних заготовок;
5. Проведення та аналіз експериментальних дослідів [7].

На рисунках 2–4 зображені тривимірні моделі складальної матриці, правої і лівої половинок та готового виробу – крутозагнутого відводу.



**Рис. 1.** Схема штампа для формотворення крутозагнутого відвода [5]:

1 і 2 – верхня і нижня плити штампу; 3 – противвіджим; 4 і 5 – напівматриці; 6 – вісь обертання; 7 і 8 – складена жорстка оправка; 9 – муфта; 10 – відштампована деталь; 11 – жорсткий замок; 12 – пуансон; 13 – підпружинений фіксатор; а – вихідне положення; б – завершення процесу формотворення

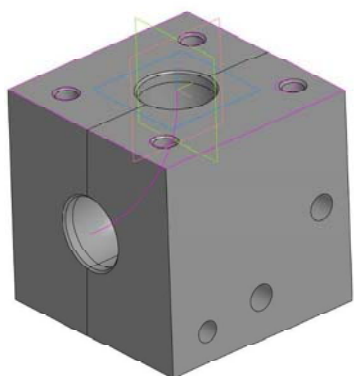
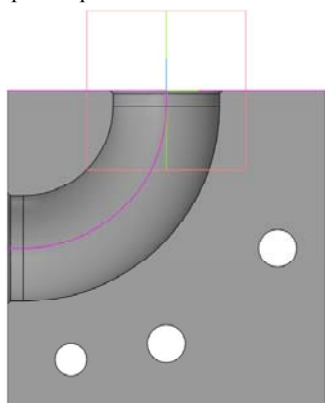
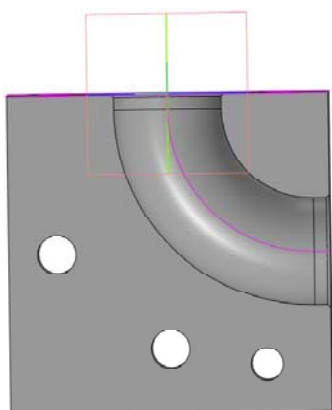


Рис. 2. Тривимірна модель складальної матриці



*a*



*б*

Рис. 3. Тривимірна модель складної матриці: правої (а) та лівої (б) половин

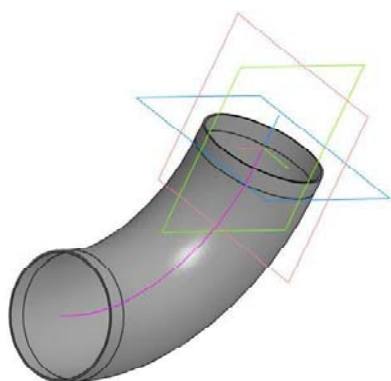


Рис. 4. Тривимірна модель готового виробу



Рис. 5. Трубна заготовка з нанесеною сіткою



*a*



*б*

Рис. 6. Підготовка трубної заготовки (а) та налаштування обладнання (б)



Рис. 7. Готовий виріб в складальних матрицях

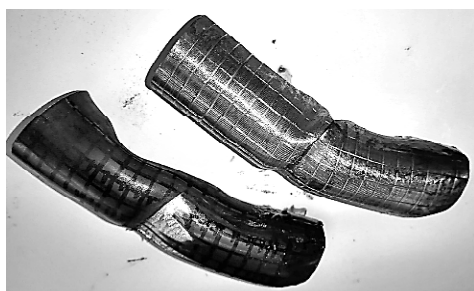


Рис. 8. Зім'яття трубної заготовки в середній частині вигину та овалізація країв на виході

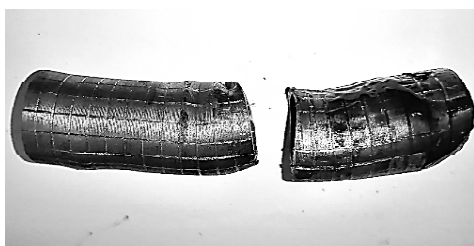
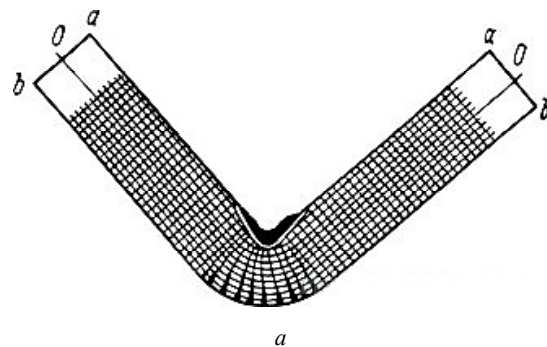


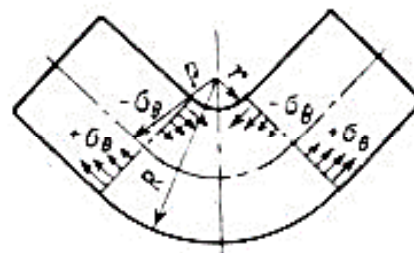
Рис. 9. Розрив трубної заготовки на 2 частини в цій же середній частині по ходу нанесеної сітки та овалізації країв на виході

Технологія виготовлення крутозагнутого відводу методом прошовхування через криволінійний отвір складальної матриці без використання наповнювачів складається з наступних операцій:

1. Вхідний контроль труб.
2. Розрізування труб на заготовки встановленої довжини.
3. Зачищення торців трубної заготовки.
4. Очищення трубної заготовки.
5. Нанесення змащувальних засобів.
6. Прошовхування через криволінійний отвір матриці без наповнювачів.
7. Відрізка торців крутозагнутого відводу.
8. Зачищення торців крутозагнутого відводу.
9. Очищення крутозагнутого відводу, вихідний контроль.
10. Вихідний контроль готового виробу.



а



б

Рис. 10. Розподіл деформації металу при гнутті трубної заготовки [9]:

*aa* – внутрішня поверхня трубної заготовки; *bb* – зовнішня поверхня трубної заготовки; *00* – нейтральний шар

### Експериментальне дослідження

Для проведення експериментальних досліджень використані зразки у вигляді трубних заготовок. На зовнішню та внутрішню поверхні заготовки попередньо наносилась сітка розміром 6Г6 мм, яка дозволяє визначити зони інтенсивності течії металу, напружено-деформований стан, тощо [8]. На рис. 5 зображена трубна заготовка з нанесеною сіткою.

Для проведення досліджень використовувались трубні заготовки зі Ст. 3, механічні властивості в стані поставки, розмірами  $\varnothing 33,5 \times 2,5 \times 130$  мм; кут гнуття трубних заготовок  $\alpha = 90^\circ$ ; радіус гнуття:  $R = 2D$ ; інструмент – штамп для гнуття трубних заготовок; устаткування – гідравлічний прес ПГ-100А; метод гнуття – прошовхування через криволінійний отвір матриці у штампі [8].

Процес прошовхування здійснювався наступним чином: штамп встановлювався на гідравлічний прес. При розміщенні штока пресу у верхньому положенні: штамп розкритий; направляюча втулка пригвинчувалась гайками до складальної матриці, яка закріплювалась у застискачі; трубна заготовка розміщувалась перпендикулярно столу преса в направляючій втулці, яка забезпечила її точне фіксування, центр гнуття при цьому співпадав з віссю пуансона. Радіус отвору направляючої втулки та отвору складальної матриці співпадав та становив величину зовнішнього радіуса трубної заготовки.

Пуансон проштовхував трубку заготовку вздовж криволінійного отвору складальної матриці при русі штока вниз.

Шток преса розміщувався у верхньому положенні після завершення процесу проштовхування. Для безперешкодного зняття готового виробу матрицю розвинчували, знімали направляючу втулку та виймали її з затискачів.

Процес виготовлення крутозагнутого відводу за досліджуваною технологією продемонстровано на рисунках 6, 7.

### Аналіз отриманих результатів

У ході проведення експериментальних досліджень отримано декілька зразків та виявлено наявність дефектів та проблем, які можуть виникати в процесі формоутворення крутозагнутих відводів. Отримані дефекти є небезпечними зонами трубною заготовки, тобто місце згину та краї готового виробу.

На рисунках 8, 9 зображено готові вироби з дефектами: зім'яття трубною заготовки в середній частині вигину (рисунок 9) та розрив трубною заготовки на 2 частини в цій же середній частині по ходу нанесеної сітки та овалізація країв на виході (рисунок 10).

Відомо, що в процесі гнуття, в результаті докладання зусиль стиснення і розтягування, може спостерігатися зім'яття або розрив труби [9]. У випадку проведених експериментальних досліджень, це обумовлюється тим, що у місці контакту заготовки та криволінійного каналу складальної матриці при проштовхуванні спостерігається виникнення стискаючих радіальних напружень, а в шарах стінок трубною заготовки, де контакту немає – поява розтягувальних напружень, рисунок 9. Таким чином, в радіальному напрямку метал трубною заготовки по-черзі піддавався стискаючим і розтягувальним напруженням [9].

Згідно з [9] встановлено, що деформація трубною заготовки відбувається поблизу кута гнуття – осередку деформації, як видно на рисунку 10а. У внутрішній поверхні трубною заготовки *aa* відбувається стиснення у поздовжньому напрямку та розтягнення в поперечному. У шарах *bb* на зовнішній поверхні навпаки – розтягнення в поздовжньому напрямку та стиснення в поперечному. Між розтягнутими і стиснутими шарами знаходиться нейтральний шар *00*, що не змінюється по довжині, положення якого визначається радіусом кривизни *R* (рисунок 10б).

Отримана нерівномірність напружено-деформованого стану трубною заготовки, яка пояснюється самим механізмом деформування у процесі проштовхування. Це призводить до того, в процесі деформування одні ділянки трубною заготовки напружені слабо, а інші дуже сильно, і в них з'являється небезпека руйнування – небезпечні зони. Обмеження можливостей технологічного процесу виготовлення крутозагнутого відводу характеризується міцністю цих небезпечних зон і перерізів на розрив або їх опором втраті стійкості стінок труби.

Зважаючи на отриманий результат можна зробити висновок, що для запобігання виникнення небезпечних зон необхідно провести ряд заходів по зменшенню контактної тертя, поліпшити конструкцію робочих елементів штамп: складальної матриці та пуансону, обрати оптимальні режими процесу формоутворення, матеріал та оптимальну форму трубною заготовки. Це посприє розвантаженню небезпечних зон і перерізу розриву. А, отже, підвищить ступінь деформації металу, яку можна буде досягти за одну операцію.

### Висновки

1. Аналізуючи літературні джерела визначено основні проблеми, які виникають при виготовленні крутозагнутих відводів для кожного методу.

2. Для дослідження особливостей технології виготовлення обраним методом змодельовано у тривимірному вигляді та виготовлено оснащення, підготовані трубні заготовки.

3. Визначено операції технології виготовлення крутозагнутого відводу методом проштовхування через криволінійний отвір складальної матриці без використання наповнювачів.

4. Проведено ряд експериментів, отримано декілька зразків та виявлено наявність дефектів та проблем, які можуть виникати в процесі формоутворення крутозагнутих відводів.

5. Встановлено небезпечні зони трубною заготовки в процесі виготовлення крутозагнутого відводу: місце згину (зім'яття, гофроутворення, розрив) та краї готового виробу (овалізація, спотворення, розриви).

6. Досліджувана технологія виготовлення крутозагнутих відводів потребує проведення ряду заходів по розвантаженню небезпечних зон і перерізу розриву.

### Список літератури

1. Methods of manufacturing of steeply curved taps for pipeline systems / A. A. Lenok, V. D. Obdul, V. V. Shirokobokov and etc. // XIX International Scientific Conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering: monografie. – N 78. – Czestochowa, 2018. – P. 84–88.
2. Ленюк А. А. Аналіз сучасних методів виготовлення крутозагнутих відводів для трубопровідних систем / Ленюк А. А. // IX Міжнародна науково-технічна конференція «Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти». – КПІ ім. І. Сікорського, ХНТУ, 28 травня–01 червня, 2018. – С. 120–122.
3. Ершов А. Г. Формирование патрубков из труб, втягиванием в фильеру с внутренним давлением / Ершов А. Г. // Кузнечно-штамповочное производство, № 7. – 1974. – С. 23–26.
4. Формообразование элементов трубопроводных систем полиуретаном на универсальном гидрпрессе / Э. И. Письменный, С. А. Эрбейгель, В. И. Заяц, А. К. Мяслица // Машиностроит. пр-во. сер. Технология и оборуд. КИП : Обзор и информ./ ВНИИТЭМР. – Вып. 3 – М., 1990. – 64 с., 28 ил.



5. Пат. 2294807 Российская Федерация, МКП В21D 9/12, В21С 37/28. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов / Попов И. П., Маслов В. Д., Николенко К. А. и др. ; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Трубодеталь». – № 2005130849/02 ; заявл. 04.10.2005 ; опубл. 10.03.2007, Бюл. № 7. – 6 с.: 2 ил.
6. Пат. 130241 Российская Федерация МКП В21С 37/29. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов / Маслов В. Д., Николенко К. А., Мисюра В. Д. ; заявитель и патентообладатель Самарский гос. аэрокосмич. университет. Заявка № 2013105307/02 ; заявл. 07.02.2013 ; опубл. 20.07.2013. – Бюл. № 23. – 3 с.
7. Ленюк А. А. Проблемы изготовления крутозагнутих відводів для газо- та водопровідних систем / А. А. Ленюк, В. В. Широкобоков // XI Міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії, присвячена 90-річчю заснування кафедри обробки металів тиском». – НТУ ХП. 20–22 листопада, 2019. – С. 92–93.
8. Ленюк А. А. Дослідження технології виготовлення крутозагнутих відводів трубопроводу / А. А. Ленюк, О. В. Виновець // Машини та технології обробки матеріалів тиском : міжнар. наук.-техн. конф., 20–22 жовт. 2020 р. – С. 22–24.
9. Характеристика гибочных операций и напряженно-деформированное состояние металла при гибке [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://cutt.ly/4hHDDkI>

Одержано 22.12.2020

**Ленюк А. А., Обдұл В. Д., Виновец А. В. Исследование технологии изготовления крутоизогнутых отводов**

**Цель работы.** Исследование особенностей технологического процесса изготовления криволинейных участков трубопровода – крутоизогнутых отводов.

**Методы исследования:** трехмерное моделирование конструкции оснастки и готового изделия; экспериментальные исследования технологии изготовления крутоизогнутых отводов методом проталкивания через криволинейное отверстие сборочной матрицы без использования наполнителей; оценка деформации методом делительных сеток.

**Полученные результаты.** Проанализированы литературные источники и определены основные проблемы, возникающие при изготовлении крутоизогнутых отводов для каждого метода. Для исследования особенностей технологии изготовления исследуемым методом смоделирована трехмерная модель сборочной матрицы, выбраны конструкция, размеры и материал оснастки. Изготовлена оснастка. Выбраны размеры и материал трубных заготовок. Определены операции технологии изготовления крутоизогнутых отводов методом проталкивания через криволинейное отверстие сборочной матрицы без использования наполнителей.

Проведены экспериментальные исследования технологии. Для этого изготовленный штамп устанавливался на гидравлический пресс ПГ-100А. Трубные заготовки размещались в направляющей втулке, привинченной к сборочной матрице при размещении штока пресса в верхнем положении. Пуансон проталкивал трубную заготовку вдоль криволинейного отверстия сборочной матрицы при движении штока вниз. По завершению процесса проталкивания шток пресса находился в верхнем положении. Для беспрепятственного снятия готового изделия снимали направляющую втулку, матрицу отвинчивали и вынимали из зажимов.

Получено несколько образцов, выявлено наличие дефектов и проблем, которые возникли в процессе формообразования крутоизогнутых отводов. Для оценки деформации был использован метод делительных сеток.

**Научная новизна.** Получил дальнейшее развитие метод изготовления крутоизогнутых отводов путем проталкивания через криволинейное отверстие сборочной матрицы. Особенность исследуемой технологии – отказ от использования дорогостоящего наполнителя или жестких оправок, сокращение технологических операций и времени на изготовление единицы готового изделия. В результате проведенного исследования были выявлены опасные зоны трубных заготовок в процессе изготовления крутоизогнутых отводов: место изгиба (смятие, гофроутворения, разрыв) и торцы готового изделия на выходе (овализация, искажения, разрывы).

**Практическая ценность.** Для предотвращения возникновения опасных зон при деформации трубных заготовок и повышение качества получаемых готовых изделий сформулированы требования к конструкции рабочих элементов разработанного штампа, выбору оптимальных режимов процесса формообразования, материалу и оптимальной форме трубной заготовки.

**Ключевые слова:** технология изготовления, трубная заготовка, крутоизогнутый отвод, проталкивание, сборочная матрица, опасные зоны

**Lenok A., Obdul V., Vinovets O. Research of technology of manufacturing of steeply curved bends**

**Purpose of work.** Investigation of the features of the technological process of manufacturing curvilinear sections of the pipeline – steeply curved bends.

**Research methods.** Three-dimensional modeling of a design of equipment and a finished product; experimental studies of the technology of manufacturing steeply curved bends by pushing through a curved hole of the assembly matrix without using fillers; estimation of deformation by the method of dividing grids.

**Obtained results.** Literary sources are analyzed and the main problems arising in the manufacture of steeply curved bends for each method are identified. To study the features of the manufacturing technology, a three-dimensional model of the assembly matrix was modeled using the investigated method, the design, dimensions and material of the tooling were selected. Equipment was made. Sizes and material of pipe billets were selected. The operations of the technology for the manufacture of steeply curved bends by pushing through a curved hole of the assembly matrix without the use of fillers were determined.

Experimental studies of the technology have been carried out. For this, the manufactured stamp was installed on a PG-100A hydraulic press. Pipe billets were placed in a guide sleeve, which was screwed to the assembly die when the press rod was placed in the upper position. The punch pushed the pipe billet along the curved hole of the assembly matrix while moving the rod down. Upon completion of the pushing process, the press rod was in the upper position. For unimpeded removal of the finished product, the guide sleeve was removed, the matrix was unscrewed and removed from the clamps.

Several samples were obtained, the presence of defects and problems that arose during the formation of steeply curved bends were revealed. To assess the deformation, the method of dividing grids was used.

**Scientific novelty.** The method of manufacturing steeply curved bends by pushing an assembly matrix through a curved hole was further developed. The peculiarity of the investigated technology - rejection of the use of expensive filler or rigid mandrels, reduction of technological operations and time for manufacturing a unit of a finished product. As a result of the study, dangerous zones of pipe billets in the process of manufacturing steeply curved bends were identified: the place of bending (crushing, corrugation, rupture) and the ends of the finished product at the exit (ovalization, distortion, breaks).

**Practical value.** To prevent the occurrence of dangerous zones during deformation of pipe billets and improve the quality of the finished products obtained, requirements were formulated for the design of the working elements of the developed stamp, the choice of optimal modes of the shaping process, the material and the optimal shape of the pipe billet.

**Key words:** manufacturing technology, pipe billet, steeply curved bend, pushing, assembly matrix, dangerous zones.

---