

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

**ЖЕРДЕВ МИКОЛА СЕРАФИМОВИЧ**

УДК 621.7.044

621.983.044

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ ПОСЛІДОВНИМ  
ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ ШТАМПУВАННЯМ**

Спеціальність 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

Харків 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
Тараненко Михайло Євгенович,  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського "Харківський  
авіаційний інститут", професор кафедри  
технології виробництва літальних  
апаратів

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук професор Тришевський Олег  
Ігорович, Харківський державний технічний університет  
сільського господарства, м. Харків, професор  
кафедри технології металів.  
Кандидат технічних наук Кузнєцов Микола  
Миколайович, Донбаська державна машинобудівна  
академія, ст. викладач кафедри обробки металів  
тиском, м. Краматорськ

**Провідна організація** Державне підприємство "Завод ім. В.А. Малишева"  
Міністерства промислової політики України, м. Харків

Захист відбудеться " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2004 р. о \_\_\_\_ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради D64.050.10 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий " \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2004 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради D64.050.10

Бортовой В.В.

### **Загальна характеристика роботи**

Перетворення, що відбулися останнім часом в економічній політиці України, потребують зміни промислової політики машинобудівних підприємств. Це призводить до створення вузькоспеціалізованих виробництв із ресурсозберігаючими технологіями. При цьому лише устаткування, що має високу гнучкість, дозволяє випускати конкурентноздатні вироби, швидко реагувати на потреби ринку в тих чи інших машинах, пристроях і деталях, що їх комплектують.

В галузі листового штампування до таких технологій, у першу чергу, відносяться процеси, що вимагають мінімальної технологічної підготовки виробництва (ТПВ), що споживають мінімум енергії і дозволяють виготовляти деталі з високим коефіцієнтом використання матеріалу (КВМ). У цьому плані поставлена задача вирішується при розробці процесів, у яких використовується один елемент, що задає форму, і висока локальна концентрація енергії. У світовій практиці, в основному, цим вимогам відповідають преси штампування рідиною високого тиску і машини, що використовують імпульсні джерела енергії. Такі гідропреси є унікальними, дорогими і випускаються в одній країні (Швеція). З других найбільш розповсюджені електрогідравлічні машини, що використовують розповсюджений у промисловості вид енергії – електричну, яка не потребує особливих умов і витрат для забезпечення технічної безпеки виробництва.

Об'єктами виробництва, що відповідають потребам ринку, є пристрої пневмотранспорту сипучих продуктів (зерна, крупи, борошна, дрібних предметів), млини із продуктивністю 800...1000 кг зерна на добу, що використовуються у фермерських господарствах, різного роду пальники, розпилувачі і завихрювачі, які також використовуються у сільськогосподарському виробництві.

В усіх цих пристроях і машинах необхідні тонкостінні трубні повороти, відводи, циклони, трійники і хрестовини різних розмірів і перетинів. Ефективних техпроцесів і устаткування для виготовлення таких деталей недостатньо. Цим визначається **актуальність теми дисертації**.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася у Міжнародному інституті нових технологій Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут” (МІНТ НАКУ “ХАІ”) в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи: “Теоретичні дослідження в галузі створення нових аерокосмічних технологій з використанням високих енергій і тисків” (Д/тема МІНТ-23/00, ДР № 0100002189), де здобувач був виконавцем окремого розділу.

**Мета роботи** – розробка ресурсозберігаючих технологічних процесів виготовлення тонкостінних елементів трубопровідних систем послідовним локальним навантаженням і оснащення для їхнього здійснення.

Для досягнення цієї мети визначені та вирішені наступні **задачі**.

1. Дослідити потреби ринку у визначених типорозмірах деталей елементів трубопровідних систем, визначити їх кількість, способи та методи їхнього виготовлення, існуюче устаткування та необхідне оснащення. Обґрунтувати обраний напрямок і методи досліджень.

2. Провести теоретичний аналіз процесів одержання трубних деталей і деталей типу напівторів з листових плоских і оболонкових заготовок при послідовному локальному навантаженні. Обґрунтувати залежності розрахунку основних технологічних параметрів таких процесів у залежності від геометричних розмірів і вимог до них у різних умовах виробництва.

3. Експериментально дослідити процеси деформування заготовок для одержання напівторів при імпульсному локальному навантаженні та установити особливості напружено-деформованого стану заготовки при її навантаженні в різних зонах. Провести порівняння розрахункових технологічних параметрів процесу з фактичними, визначеними при експериментальному відпрацюванні технологічних процесів виробництва різних деталей.

4. Розробити варіанти конструкції багатоелектродних розрядних блоків для послідовного локального навантаження заготовок з тонколистових оболонок за схемами роздачі й обжиму. Дослідити можливі варіанти виготовлення елементів трубопровідних систем, використане для цього оснащення, та оснащування для їх штампування і подальшого складання.

5. Впровадити розроблені технологічні процеси виготовлення елементів трубопровідних систем. Обґрунтувати результати впровадження у виробництво технологічних процесів, оснащення й устаткування. Розробити технологічні рекомендації з їхнього застосування.

**Об'єкт досліджень** – технологія виготовлення тонкостінних елементів в трубопровідних системах.

**Предмет досліджень** – технологічні процеси витяжки напівторів, та їх подальше перетворення у трубний поворот, а також устаткування, необхідне для реалізації цих процесів.

**Методи досліджень.** У роботі використаний узагальнений евристичний метод для пошуку технічного рішення членування найбільш складних у виробництві ділянок тонкостінних трубопроводів – трубних поворотів. На основі теоретичного аналізу рівнянь механіки суцільних середовищ отримана залежність роботи деформації від конструктивних параметрів полутора під час його імпульсного штампування. Експериментально за допомогою оптичних та електричних приборів зроблено уточнення та перевірка отриманих залежностей. Методами математистики отримано емпіричні залежності для розрахунку технологічних па-

раметрів. Конструктивно розроблені багатоелектродні розрядні блоки (БРБ), які необхідні для штампування за схемами роздавання та обжима.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в наступному:

- вперше запропоновано теоретично проаналізовані та експериментально перевірені моделі формоутворення напівторів з листових плоских і оболонкових заготовок при їх локальному і послідовному навантаженні;
- розроблені нові типові технологічні процеси одержання тонколистових елементів трубопровідних систем різного призначення з напівторів, що відрізняються рядом позитивних показників за ресурсозберіганням та гнучкості;
- на основі експериментально-теоретичних досліджень отримані нові уточнені залежності розрахунку технологічних параметрів штампування тонколистових тороподібних деталей.

**Практичне значення** результатів роботи полягає:

- у розробці технологічних рекомендацій із проектування техпроцесів виготовлення елементів тонколистових трубопровідних систем;
- у розробці варіантів конструкції багатоелектродних розрядних блоків для послідовного локального штампування оболонкових заготовок за схемами "на роздавання" та "на обжим".

Матеріали роботи використовуються в навчальному процесі НАКУ "ХАІ", у науковій і виробничій роботі МІНТ НАКУ "ХАІ", впроваджені на підприємствах ВАТ "Автомаш" (м. Полтава), ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя), АНТК "Антонов" (м. Київ), ПП "Елеватормельэкспорт" (м. Харків).

**Особистий внесок здобувача** полягає в наступному:

- виконаний аналіз існуючих способів виготовлення елементів тонколистових трубопровідних систем з листових плоских і оболонкових заготовок і визначені перспективні напрямки розробки нових техпроцесів виготовлення цієї номенклатури виробів;
- розроблені теоретичні залежності для визначення основних технологічних параметрів при формоутворенні заготовок різного виду для одержання тороподібних деталей;
- розроблена методика експериментальних досліджень і оброблені результати цих досліджень;
- спроектовані технологічні процеси виготовлення варіантів конструкції багатоелектродних розрядних блоків для формоутворення напівторів з оболонкових заготовок;
- розроблені і складені технологічні рекомендації з виготовлення елементів трубопровідних систем різного призначення.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи повідом-

лені й обговорені на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і наукових співробітників Національного аерокосмічного університету "ХАІ" ім. М.Є. Жуковського в 2002...2004 р.р.; на Міжнародних науково-технічних конференціях "Проблеми створення нових машин і технологій", м. Кременчук, 21-22 травня 2002 р. і 12-14 травня 2004 р., а також "Нові наукомісткі технології, устаткування й оснащення для обробки матеріалів тиском", м. Краматорськ, 20-23 квітня 2004 р.

**Публікації.** Основний зміст дисертації викладений у 4 статтях спеціалізованих збірників наукових праць і журналах.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів основної частини і загальних висновків. Повний обсяг роботи 141 стор. Робота містить 48 малюнків, 26 таблиць, список використаних джерел з 89 найменувань.

### **Основний зміст**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми роботи, показано її зв'язок з плановою тематикою університету, сформульовано мету та задачі роботи, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, підкреслено особистий внесок здобувача, наведено структуру роботи та публікації здобувача.

У **першому** розділі проведено дослідження стану технології виготовлення тонколистових елементів трубопровідних систем. У його рамках виконаний аналіз потреб ринку в трубопровідних системах і їхніх елементах, що виготовляються з листових заготовок. Установлено, що в даний час існує досить велика потреба в апаратах для пневмотранспорту сипучих продуктів – зерна, крупи, борошна, дрібних деталей і т.д. Ці трубопровідні системи мають довжину 5...40 м. Можлива установка систем різної конфігурації з розділом на кілька трактів, що відрізняються різними прохідними перетинами (діаметри 120...250 мм) і іншими особливостями. Матеріал трубопроводів – вуглецева сталь (найчастіше), алюмінієві сплави і нержавіюча сталь. Основними трудомісткими для виготовлення деталями цих систем є: трубні повороти різного за формою перетину, трубні відводи, дифузори (днища). Товщина стінки 1,0...2,0 мм. Апарати використовуються у фермерських господарствах і підприємствах по переробці сільгосппродукції. Потреба України та сусідніх країн у таких апаратах до 100 шт. на рік.

Подібні деталі широко застосовуються в млинах продуктивністю 800...1000 кг зерна на добу, використовуються малими підприємствами у газових пальниках, для сушіння і знезаражування приміщень і сипучих продуктів. Найбільш уживаними деталями є напівтори з діаметром направляючого кола 350...1200 мм, з частин яких виготовляються трубні елементи. Потреба в таких деталях різних типорозмірів

оцінюється в розмірах 4...7 тисяч деталей у рік (з урахуванням зносу).

Аналогічні трубопровідні системи використовуються в конструкціях сучасних літаків (системи кондиціонування, здування примежового шару і т.д.). Існує велика потреба в тороподібних посудинах, що працюють під внутрішнім тиском і виготовляються з листових заготовок напівторів.

Існуючі методи виготовлення тонколистових тороподібних деталей – методом обкатування, штампування в інструментальних штампах на механічних чи гідравлічних пресах, гідровитяжкою і т.п. з листових заготовок, не задовольняють вимогам, що ставляться до сучасного виробництва. Формоутворення їх із трубних заготовок практично неможливо через малу відносну товщину стінки.

Проведеними дослідженнями журнальної, патентної і науково-технічної літератури встановлено, що для виробництва зазначених деталей в існуючих умовах найкращим є електрогідравлічне послідовне локальне штампування. Для його реалізації розроблені багатоконтурні ЕГ-преси, що оснащуються багатоелектродними розрядними блоками. Вони дозволяють скоротити ресурсовитрати при виробництві, терміни і витрати на ТПВ, підвищити якість деталей, що виготовляються із плоских листових заготовок.

Технологічні процеси формоутворення напівторів та деталей, близьких до них за формою, послідовним локальним штампуванням з листових заготовок мало вивчені, не виявлені їх технологічні можливості, відсутні технологічні рекомендації з виготовлення тороподібних деталей. Не розроблені конструкції багатоелектродних розрядних блоків для керування навантаженням при штампуванні деталей з тонкостінних циліндричних заготовок. В розділі зроблені висновки і сформульовані мета і задачі роботи.

В другому розділі обґрунтований обраний напрямок досліджень і використані методи. Основним напрямком досліджень обрана розробка методів одержання тонколистових трубних поворотів і відводів, напівторів і розширювачів різних профілів перетину. При цьому використовуються метод евристичного аналізу й експериментально-теоретичний метод досліджень. Він полягає в експериментальному визначенні необхідних для спрощення теоретичного аналізу параметрів, перевірці отриманих результатів при експериментальній обробці процесів при їх впровадженні.

У розділі виконаний теоретичний аналіз процесу формозміни напівторів при послідовному локальному навантаженні. На підставі попередньо проведених експериментальних робіт описаний механізм деформування заготовки при її навантаженні в різних зонах: зовнішнього і внутрішнього перетяжних ребер, у центрі провисаючої частини. Показано вплив розподілу зони навантаження на особливості на-

пружено-деформованого стану заготовки і його визначальна ступінь впливу на технологічні можливості процесу.

При припущеннях про нульове значення інтенсивності деформацій у полюсі напівтора і середніх значеннях цього параметру, на зовнішній і внутрішній частинах, отримана залежність роботи деформації:

$$W = K_c \left[ \int_0^{\varepsilon_{icp}} \sigma_i d\varepsilon_i \right] V, \quad (1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт швидкісного зміцнення по Губкіну;  $\varepsilon_{icp}$  – середня інтенсивність деформації на ділянці;  $\sigma_i$  – інтенсивність напруг;  $V$  – об'єм ділянки заготовки.

При використанні цієї залежності необхідно експериментально визначити розподіл  $\varepsilon_i$  уздовж поверхні деталі.

Запропоновано для спрощення оцінки роботи деформування, за рахунок виключення проведення експериментальних робіт, користатися відомим підходом для розрахунку роботи деформування фланця при штампуванні-витяжці:

$$W_\phi = \frac{K_r K_T B}{1+n} \left[ 1,15 \frac{K_0 - K_\phi}{K_0 - 1} \ln K_0 \right]^{1+n} \pi r^2 (K_0^2 - 1) \delta, \quad (2)$$

де  $K_r$  – коефіцієнт, що враховує додаткову енергію перегинання матеріалу навколо перетяжного ребра матриці,  $K_r=1,1 \dots 1,15$ ;  $K_T$  – коефіцієнт, що враховує енергію, яка втрачається на подолання сил тертя,  $K_T=1,1 \dots 1,3$ ;  $B$  і  $n$  – коефіцієнти статичної апроксимації матеріалу заготовки;  $K_0$  – коефіцієнт витяжки, дорівнює відношенню діаметра заготовки до діаметра вічка матриці,  $D_{zar}/D_m$ ;  $K_\phi$  – коефіцієнт фланця, дорівнює відношенню зовнішнього діаметра фланця відштамповки до діаметра матриці;  $r$  – радіус матриці;  $\delta$  – товщина заготовки.

У випадку штампування напівторів з кільцевої заготовки відбувається витяжка матеріалу в порожнину матриці з зовнішнього і внутрішнього фланців заготовки. При витяжці внутрішнього фланця з енергетичної точки зору процес аналогічний процесу витяжки зовнішнього фланця. Тому до розрахункового значення роботи деформації зовнішнього фланця необхідно додати роботу деформування внутрішнього фланця, що розраховується за цією ж залежністю за відповідними параметрами, і відносно невелику за величиною роботу вигину центральної частини напівтора. Величина коефіцієнта корисної дії (ККД) дорівнює – 5...10% повної роботи деформації. Цим визначається один з основних технологічних параметрів.

Виходячи з геометричних і деформаційних особливостей формоутворення напівторів, визначені залежності для розрахунку розмірів заготовки і вибору її форми. Показано, що при відношенні діаметрів направляючого кола до утворюючого менш 1,44 заготовку треба вибирати у вигляді кола, а у протилежному випадку



– у вигляді кільця. Однією з основних умов розрахунку розмірів кільця, що доведено експериментально, є рівність діаметрів середньої лінії кільця і направляючого кола напівтора.

Проаналізовані можливості одержання тороподібних заготовок при роздачі-обжимі оболонкових листових заготовок (рис. 1).

Показано, що при штампуванні за схемою роздачі технологічні можливості перевищують потрібні, а при обжимі – можливе обмеження потрібного ступеня обжиму втратою стійкості. Для виключення цього шкідливого явища запропоновано використовувати послідовне формоутворення напівтора за рахунок "проклацування заготовки" чи комбінацією роздачі й обжиму циліндричної заготовки.

Для різних матеріалів заготовки визначені орієнтовані значення коефіцієнтів обжиму.

У **третьому** розділі описані результати експериментальних досліджень процесу формоутворення напівторів при послідовному локальному електрогідравлічному навантаженні. Основні експериментальні роботи проводилися на дослідно-промисловому багатоконтурному електрогідравлічному пресі ПЕГ-ХАІ-500, встановленому в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського "ХАІ". У першій частині експериментів визначені розміри зон навантаження при ЕГ-розряді в одиночній і в групі поруч розташованих розрядних порожнин при характерних для таких пресів дистанціях та режимах виділення енергії. При використанні креслерних датчиків встановлено, що нерівномірність поля навантаження складає 12...26% у залежності від геометрії розташування підключених електродних систем і їхньої кількості.

Деформований стан деталей досліджувався методом сіток при формоутворенні напівторів (5 типорозмірів) з напівкруглою і прямокутною формами перетину з плоских кільцевих заготовок різних діаметрів. Матеріали заготовки: сталь 08кп, сталь 30, АМцАм. Принципова схема робочої зони показана на рис. 2, а.

Отримано залежність розподілу інтенсивності деформацій у залежності від радіуса напівтора і зони навантаження у вигляді:

$$\varepsilon_i = A_\varepsilon + B_\varepsilon \bar{R} + C_\varepsilon \bar{R}^2, \quad (3)$$

де  $A_\varepsilon$ ,  $B_\varepsilon$  і  $C_\varepsilon$  – коефіцієнти апроксимації, що залежать від зони навантаження;  $\bar{R} = 2R/d_c$  – відносний радіус деталі.

Встановлено характер розподілу відносних деформацій витончення й інтенсивності деформацій у залежності від розташування зони навантаження при формоутворенні напівторів із плоских заготовок (рис. 2, б). На підставі експериментів зроблено висновок про значний вплив зони навантаження і розмірів заготовки на технологічні можливості процесу і вибір технологічних параметрів процесу.

Рис. 1. Можливі схеми штампування тороподібних заготовок для трубних поворотів і тороподібних посудин: а- із плоских заготовок; б- при роздаванні циліндричної оболонки: 1– матриця; 2– заготовка; 3– імпульсне навантаження; в- при обжимі циліндричної оболонки: 1– заготовка; 2– імпульсне навантаження; 3– оснащення, що задає форму (болван); г- обжимом з “проклацуванням”; д- сполученням роздавання й обжиму: 5– положення заготовки

На підставі цієї серії експериментів зроблені висновки про розташування зон з мінімальними і максимальними значеннями  $\epsilon_i$ , причини обмеження ступеня деформування по зонах і раціональну послідовність деформування для розширення технологічних можливостей процесу.

Виконано експериментальне визначення ККД процесу штампування напівторів при різних варіантах навантаження шляхом порівняння фактичних роботи деформації і енергії, що виділяється. Остання обчислювалася інтегруванням за часом добутку осцилографічних кривих розрядних токів і напруги в одному контурі і підсумовуванням цих величин по всім робочим електродним системам. Отримані значення ККД (рис. 3) знаходяться в межах 0,13...0,28 у залежності від зони навантаження і жорсткості системи “заготовка-матриця”, що, в основному, визначається матеріалом заготовки, її товщиною і величиною прогинання. Установлено кращу послідовність деформування в залежності від поставлених цілей – максимального використання енергії, що виділяється, чи матеріалу; ступеня розподілу витончення уздовж утворюючої, чи використання запасу пластичних властивостей заготовки.

Рис. 2. Схема навантаження і характер розподілу відносних деформацій витончення ( $\epsilon_\delta$ ) і інтенсивності деформацій ( $\epsilon_\delta$ ) уздовж радіуса направляючого кола напівтора: а: 1– стіл преса; 2– матриця; 3– кільцева заготовка; 4– притискне кільце; 5– гумова діафрагма; 6– проміжна плита; 7– направляюча плита розрядного блоку; 8– порожнина розрядного блоку, у якій виділяється енергія;  $P_{\text{ПР}}$ – притискне зусилля, регульоване гідроциліндром преса; б: 1– навантаження в зоні 1,05; 2– 0,98 і 3– 0,9 відносного середнього радіусу деталі

Виконана по нормативних документах метрологічна обробка експериментальних даних показала їх інженерно прийнятну точність і величину довірчих інтервалів (не більше 29%).

У четвертому розділі приведені результати дослідно-промислового відпрацювання техпроцесів і впровадження їх у виробництво. При розробці техпро-

цесів формоутворення крутовигнутих трубних поворотів і інших деталей трубопроводів пневматичних систем обґрунтовані переваги і недоліки одержання таких деталей з вертикальним і горизонтальним розташуванням площин рознімання, уточнені формули для розрахунку розмірів і форми заготовок. Приведені рекомендації для проектування оснащення для формоутворення, одержання заготовок і вибору режимів штампування для різних перетинів напівторів.

Описано технологічні процеси з'єднання деталей в елементи трубопроводів і відбортовки фланців.

Рис. 3. Залежності ККД процесу від зсуву осі кільцевого поясу навантаження щодо направляючого кола напівтора (і прогину заготовки: а- основні лінії – математичні очікування для заготовок зі сталі 08кп; заштрихована ділянка – границі довірчого інтервалу; ▲ – значення ККД при штампуванні заготовки зі сплаву АМцАм товщиною 2,0 мм; значення  $\delta$ : 1– сталь 08кп товщиною 1,4 мм; 2– АМцАм товщиною 2,0 мм (варіант 9 табл. 4.2); пунктирна лінія – прогнозовані значення

Розроблені варіанти конструкції багатоелектродних розрядних блоків для формоутворення деталей з тонколистових оболонок. Обґрунтовано схему послідовного локального електрогідравлічного навантаження оболонок для їхньої роздачі й обтиску. Показано, що при виготовленні корпусу таких блоків з металу, мінімальний діаметр заготовки повинний бути більш 700 мм. Це не цілком задовольняє виникаючі потреби. Розроблено конструкцію розрядного блоку з корпусом з діелектрика (наприклад, склопластику), яку можна використовувати для формоутворення меншого діаметра. Це значно розширює технологічні можливості процесу і дозволяє підвищити ККД процесу на 15...40%. Показано можливість керування вільним зазором між заготовкою і бічною поверхнею блоку за рахунок зміни товщини направляючої оболонки.

Проведено аналіз техніко-економічної ефективності розроблених технологічних процесів за методикою оцінки рівня якості розробки. Варіанти технології для порівняння вибиралися такі: традиційне штампування напівторів на пресах з використанням двохелементної схеми оснащення; одержання напівторів із плоских кільцевих заготовок методом обкатування на токарно-давильних верстатах; формування деталей із плоских заготовок рідиною (еластичним середовищем) високого тиску; формоутворення методами вибухового штампування; вигинання деталей із трубних заготовок за різними схемами на гідравлічних пресах.

Рис. 4. Типові деталі, впроваджені у виробництво: напівтори  $\varnothing 450 \dots 620$  мм, трубні повороти  $\varnothing 102$  мм з товщиною стінки 0,8...1,6 мм

Для обліку різних умов виробництва і експлуатації виробів аналізувалося 14 показників якості, включаючи широту номенклатури деталей і масштаби виробництва, КВМ і різновтовщинність, показники вартості устаткування, оснащення, заготівки та витраченої енергії, терміни ТПВ і циклу виготовлення.

У результаті аналізу виявлено, що в середовищі приведених показників дана розробка має незаперечні переваги перед усіма порівнюваними варіантами.

Основними переважними показниками, виявленими аналізом і результатами впровадження є:

- збільшення КВМ для діапазону діаметрів 400...700 мм на 15...18%;
- скорочення енерговитрат при штампуванні в 2,5...3,0 рази;
- прискорення термінів ТПВ більш, ніж у 2 рази при значному скороченні витрат на цій стадії;
- поліпшення якості деталей за рахунок зменшення різновтовщинності і поведень.

### **Загальні висновки**

У дисертації розроблені ресурсозберігаючі технологічні процеси виготовлення тонколистових крутовигнутих елементів трубопровідних систем послідовним локальним навантаженням заготівки і технологічне оснащення електрогідравлічних

установок для їхнього здійснення.

1. У результаті дослідження ринку встановлена його потреба в тонколистових (з товщиною стінки 0,8...2,0 мм) крутовигнутих елементах (з радіусами повороту 2...8 діаметра) трубопровідних систем діаметрами 50...280 мм із річними обсягами 1000...4000 деталей різної номенклатури за діаметрами і кутами повороту.

Існуючі способи виготовлення таких деталей, а саме: штампування на пресах по двохінструментальній схемі, формоутворення рідиною високого тиску, розкачування на токарно-давильних верстатах і гнуття з трубних заготовок, за різними причинами не задовольняють установленим вимогам.

Технологічні можливості багатоконтурних електрогідравлічних пресів, що експлуатуються, дозволяють штампувати напівтори відповідних розмірів, але такі технологічні процеси і повний склад технологічного оснащення для цього не розроблені.

2. Розроблені задачі для досягнення поставленої мети і напрямок досліджень. Визначено основні технологічні параметри, експериментально перевірені отримані залежності; здійснені дослідно-промислове відпрацювання технологічних процесів виготовлення елементів трубопровідних систем, розробка потрібних технологічних вузлів для існуючих пресів, оцінка технологічної ефективності розробки і впровадження її у виробництво.

3. Теоретичний аналіз процесу формоутворення деталей типу напівторів із плоских кільцевих листових заготовок показав складність і недостатню точність визначення напружено-деформованого стану деталі. З деякими припущеннями визначена робота деформування напівтора з плоскої заготовки.

Розроблені й обґрунтовані технологічні схеми одержання тороподібних заготовок для виготовлення крутовигнутих трубних поворотів з листових оболонкових заготовок при послідовному локальному деформуванні.

4. Експериментально досліджені процеси деформування плоских заготовок для одержання напівторів з діаметрами направляючого кола 450...720 мм і радіусами утворюючого кола 37..65 мм. За допомогою методу сіток установлені залежності розподілу інтенсивності деформацій від радіусу і місця навантаження заготовки. Встановлено, що максимальні значення цього параметру спостерігаються в середині внутрішнього фланця, що обмежує ступінь формозміни внутрішньої частини напівтора. Мінімальні значення інтенсивності деформацій знаходяться в районі лінії проєкції направляючого кола на поверхні деталі. Обмеженням ступеня деформування зовнішньої частини напівтора є втрата стійкості (складкоутворення) на фланці деталі.

На підставі порівняння роботи деформації і енергії, що виділяється, які розраховуються по вимірюваним осцилограмам розрядних токів та напруг, отримано

залежності ККД процесу від умов деформування і геометрії деталей. Цей параметр знаходиться в діапазоні 0,13...0,28. Менші значення відносяться до більш товстих і міцних заготовок і некруглих перетинів деталей.

Для одержання мінімальної різнотовщинності деталей встановлена раціональна послідовність деформування для різних співвідношень зони ефективного навантаження і розміру провисаючої частини заготовки.

5. Відпрацьовано дослідно-промислові техпроцеси виготовлення напівторів із плоских кільцевих заготовок. Уточнено основні залежності технологічних параметрів від умов штампування, а саме: отримані залежності для розрахунків енергії, що запасається, форми і розмірів заготовки, вибору місць виділення енергії, потрібних для з'єднання фланців деталі.

Розроблено варіанти конструкції багатоелектродних розрядних блоків для штампування напівторів з листових оболонкових заготовок і варіанти розташування їх у технологічному блоці багатоконтурного електрогідравлічного пресу ПЕГ-ХАІ-500.

6. Впроваджено технологічні процеси штампування тонколистових напівторів діаметром 518 і 450 мм округлої і коробчастої форм перетину, а також трубні повороти діаметром 102 мм.

Аналіз рівня техніко-економічної ефективності, виконаний за методикою оцінки рівня якості, показав ефективність розробки. По цьому показнику в розглянутих умовах вона перевершує варіант штампування на механічних пресах по традиційній двохінструментальній схемі в 1,11 рази, варіант обкатування на токарно-револьверних верстатах – у 1,21 рази, формування рідиною високого тиску – у 1,43 рази, вибуховим штампуванням - у 1,55 рази і варіант гнуття деталей із трубчастих заготовок – у 1,72 рази. Ступінь наближення до "гіпотетичного" варіанту дорівнює 0,613.

Матеріали роботи використовуються в навчальному процесі НАКУ "ХАІ", у науковій і виробничій роботі МІНТ НАКУ "ХАІ"; впроваджені на підприємстві ВАТ "Автомаш" (м. Полтава) при ремонті кожухів колес автобусів "Skania", ВАТ "Мотор Січ" (м. Запоріжжя), АНТК "Антонов" (м. Київ) при виробництві тонкостінних трубних поворотів для виробів, а також на ПП "Елеватормельмаш" для трубопроводів, що транспортують сипучі продукти.

### **Список опублікованих робіт з теми дисертації**

1. Тараненко М.Е., Жердев Н.С. Влияние технологических особенностей последовательной локальной электрогидравлической штамповки на выбор номенклатуры листовых деталей для их изготовления //Вісник Кременчуцького державного

політехнічного ун-ту, Кременчук, КДПУ.– 2002.– Вип. 3. – С. 147-149.

*Здобувачем досліджені потреби ринку, проаналізована потрібна номенклатура деталей, встановлені умови виробництва.*

2. Жердев Н.С. Расчет запасаемой энергии при штамповке листовых полуторов на многоконтурных ЭГ-прессах //Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: Темат. зб. наук. праць. – Краматорськ-Слав'янськ, 2003. – С. 310-312.

3. Жердев Н.С. Электрогидравлическая локальная штамповка листовых полуторов //Вісник Кременчуцького державного політехнічного ун-ту, Кременчук, КДПУ – 2004.– Вип. 4. – С. 87–90.

4. Тараненко М.Е., Голованов В.Н., Жердев Н.С. Изготовление элементов пневмотранспортных систем электрогидравлической штамповкой //Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. –М.: 2004. – № 6. – С.22–24.

*Здобувачем зроблений вибір варіантів і показників для порівняння розробленої технології.*

#### **Анотації**

Жердев М.С. Технологія виготовлення тонкостінних елементів трубопровідних систем послідовним електрогідравлічним штампуванням.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. Харків. 2004.

Дисертацію присвячено розробці технології виготовлення елементів повітряних та пневмотранспортних систем із тонколистових заготовок. Запропоновано геометрично складні елементи таких систем – трубні повороти, напівпатрубки, розширювачі, тороподібні посудини та ін.– виготовляти з'єднанням напівторів, що штампуються з листових плоских та оболонкових заготовок на багатоконтурних електрогідравлічних пресах.

Розроблені залежності основних технологічних параметрів (енергії, що запасється, форми та розмірів заготовки) від геометричних розмірів деталей та механічних властивостей матеріалів. Запропоновано конструкції багатоелектродних розрядних блоків для штампування напівторів за схемами роздавання та зтискання. Результати, що одержані, підтверджені експериментально та при випробувально-промисловому впровадженні на різних підприємствах. Виконано техніко-економічну оцінку розроблених технологічних процесів, що показала їх перспективність у дрібно- та середньосерійному виробництві у порівнянні з низ-

кою існуючих процесів.

Ключові слова: листова заготівка, штампування напівторів, електрогідравлічний розряд, прес, технологічний процес, керування навантаженням.

Жердев Н.С. Технология изготовления тонкостенных элементов трубопроводных систем последовательной электрогидравлической штамповкой.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.03.05 – процессы и машины обработки давлением.

Диссертация посвящена созданию технологий изготовления тонкостенных элементов трубопроводных систем, используемых в пневмотранспорте сыпучих сельхозпродуктов; системах кондиционирования и сдува пограничного слоя и других системах современных транспортных самолетов, а также другой современной техники. К таким элементам относятся трубные повороты с относительной толщиной стенки 0,03...0,2, полупатрубки сложной формы, полуторы разной геометрии и назначения. Предложено изготавливать такие элементы из листовых плоских и оболочковых заготовок штамповкой на многоконтурных электрогидравлических прессах и последующим соединением в изделие.

Исследованы потребности рынка Украины в названных элементах трубопроводов, оценены характерные размеры деталей, толщины стенок и используемые материалы. Сделан вывод о необходимости изготовления названных элементов в условиях мелкосерийного производства.

Проведен анализ существующих методов и схем изготовления трубных поворотов и полупатрубок требуемых диапазонов геометрических размеров и качества. Обоснован вывод о перспективности изготовления таких деталей на многоконтурных электрогидравлических прессах, обладающих возможностями управления нагружением по поверхности заготовки.

На основании анализа механизма деформирования заготовок при управляемом нагружении, описания напряженно-деформированного состояния при таком деформировании получены зависимости основных технологических параметров – потребной запасаемой энергии, формы и размеров заготовок, необходимого поля нагружения от геометрических размеров деталей и механических свойств материала заготовки.

Экспериментально определено напряженно-деформированное состояние детали в зависимости от условий штамповки.

Опытно-промышленная отработка технологического процесса подтвердила основные полученные зависимости, позволила оценить их точность и доверительные интервалы экспериментальных зависимостей.

Спроектированы многоэлектродные разрядные блоки для прессы



ПЭГ-ХАИ-500 для штамповки деталей по схемам раздачи и обжима. Разработаны устройства для формообразования фланцев на торцах отштампованных элементов трубопроводов. Оценено влияние требований сварки на условия штамповки и технологические припуски.

Технологические процессы изготовления полуторов внедрены на ряде предприятий. Технико-экономический анализ, проведенный по методике оценки уровня качества, позволил доказать эффективность разработки в условиях мелко-серийного производства, получаемую за счет сокращения энергопотребления и расхода штампуемого материала, уменьшения сроков и затрат на технологическую подготовку производства и повышения его гибкости.

Ключевые слова: листовая заготовка, деформации, электрогидравлический разряд, пресс, технологический процесс, оснастка, управление нагружением.

Zherdev M.S. Manufacturing technology of thin-walled elements of piping systems by serial electro-hydraulic stamping.

Thesis for candidate degree of Engineering science by specialty 05.03.05 – processes and machines for pressure treatment. National technical university “Kharkiv polytechnic institute”. Kharkiv. 2004.

The thesis is devoted to working out of manufacture elements of air- and pneumatic-transmitting systems made of thin-walled blanks. Geometrically complicated elements (like pipe elbow, semipipes, expanders, torus-like capacities etc.) are suggested to produce by joining semi-tori made of flat sheet and shell blanks on multi-contour electro-hydraulic presses.

Dependencies of main manufacturing parameters (supplied energy, blank form and dimensions) on geometric dimensions of articles and material mechanical properties are worked out. Structures of multi-electrode charge blocks for semi-tori stamping by expanding and compression are suggested. Obtained results are proved experimentally and by experimental-production introduced at some enterprises. Worked out manufacturing processes technical and economical estimation is provided. This estimation has shown that above-mentioned processes are quite perspective in small-lot and semi-lot manufacturing comparing with row of other up-to-date manufacturing processes.

Key words: semitorus, sheet blank, strains, electro-hydraulic charge, press, manufacturing process, jig, loading control.