

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Петрівний Віталій Миколайович

УДК 621.9

**ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО
МЕХАНОСКЛАДАЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА АГРЕГАТІВ ЗІ
ЗМІЄВИКОВИМИ СИСТЕМАМИ**

Спеціальність 05.02.08 - технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2009

Дисертація є рукописом
Робота виконана на кафедрі «Технічний сервіс» Сумського національного аграрного університету

Наукові керівники:

доктор технічних наук, професор
Захаров Микола Володимирович;
доктор технічних наук, професор
Тимофієв Юрій Вікторович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри «Технологія
машинобудування та металорізальні
верстати»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент
Резніченко Микола Кирилович,
Українська інженерно-педагогічна
академія (м.Харків), завідувач кафедри
“Технології і управління якістю в
машинобудуванні”;
кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник
Ряховський Олексій Володимирович,
Національний науковий центр
«Інститут метрології» (м.Харків),
головний інженер

Захист дисертації відбудеться 09 квітня 2009 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 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» (м. Харків, вул.Фрунзе, 21)

Автореферат розісланий 05 березня 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Пермяков О.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В агрегатах хімічної й нафтохімічної промисловості, суднових енергетичних установках, енергоблоках атомних електростанцій широко застосовують змієвикові системи (ЗС). У цей час прогресивні конструкції змієвикових систем містять переважно оребрену трубу, що піддають вигину в площинний змієвиковий елемент і прикріплюють до колектора. Змієвикові елементи (ЗЕ) на ділянці вигину труби й ділянках, що прилягають до зони вигину, не передбачають оребріння або ж ребра мають низьку висоту. Це значно знижує експлуатаційні характеристики таких систем, обумовлює збільшення їхніх габаритів і, як наслідок, металоємності.

Як показує практика виробництв, відмова в роботі змієвикових систем, виготовлених за традиційною технологією, у більшості випадків пов'язана з руйнуваннями в біляшовній зоні зварювання й на ділянках вигину, внаслідок зменшення товщини стінки труби та низької технологічної надійності процесу виготовлення. Наступним істотним недоліком змієвикових систем, виготовлених за традиційною технологією, є велика металоємність конструкцій. Причому підвищення металоємності в більшій мірі проявляється на стадії виготовлення збірних конструкцій. Так, при виготовленні ділянок вигину до 50% матеріалу заготовки йде у відходи.

Розробка нової технології формування змієвикових елементів дозволить підвищити ефективність і надійність агрегатів зі змієвиковими системами. При цьому необхідні експлуатаційні характеристики змієвикових систем будуть забезпечені із заданими геометричними обмеженнями, лімітованими по міцності, що, у свою чергу, дозволить знизити металоємність, а отже, і собівартість їхнього виготовлення. Тому розробка нової технології формування змієвикових елементів є актуальним завданням та складає напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі “Технічний сервіс” Сумського національного аграрного університету (СНАУ) відповідно до планів держбюджетної науково-дослідної роботи «Підвищення ефективності механоскладального виробництва управлінням

ступенем диференціації технологічних операцій» (ДР №0108U010284), а також у межах госпдоговірної тематики «Розробка прогресивних технологій ремонту виробів загального машинобудування» при виконанні договорів №11/01, №3/ 1-04, у яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Мета й задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності й надійності інтегрованої технології виготовлення змієвикових елементів і складання агрегатів, що включають у себе змієвикові системи.

Для досягнення мети вирішені наступні науково-технічні задачі:

- виконати аналіз показників, які оцінюють технологічність змієвикових елементів, а також агрегатів, що включають у себе змієвикову систему;

- визначити критерії оцінки технологічної надійності й ефективності виготовлення змієвикових елементів і складання агрегатів зі змієвиковими системами;

- обґрунтувати принципи розробки інтегрованої технології виготовлення монометалевих оребрених труб для змієвикових систем;

- обґрунтувати принципи розробки надійної й ефективної інтегрованої технології виготовлення змієвикових елементів з оребрених монометалевих труб;

- виявити особливості формування вузлів кріплення при складанні агрегатів зі змієвиковими системами, що відповідають вимогам мінімальної металоємності;

- розробити надійну й ефективну інтегровану технологію виготовлення змієвикових елементів з оребрених монометалевих труб і складання агрегатів зі змієвиковими системами;

- здійснити експериментальну перевірку й промислове впровадження результатів досліджень.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виготовлення агрегатів зі змієвиковими системами.

Предмет дослідження – інтегрована технологія виготовлення змієвикових систем із застосуванням оребрених труб.

Методи дослідження. Теоретичною основою роботи є фундаментальні положення технології машинобудування, теорії різання, положень теорії пластичності. Для синтезу раціонального варіанта технології виготовлення змієвикової системи

застосовувались положення математичної логіки. При обробці результатів експериментальних досліджень застосовувались положення математичної статистики. При розробці програми, що дозволяє автоматизувати розрахунок основних геометричних параметрів змієвикових елементів використані методи візуально-орієнтованого програмування. Результати, висновки й рекомендації підтверджені комп'ютерним моделюванням із застосуванням сучасного програмного забезпечення, алгоритмів і моделей.

Експериментальні дослідження виконувалися на базі проблемної науково-дослідної лабораторії “Автоматизація технологічних процесів і виробництв” СНАУ та центральної заводської лабораторії насосного виробництва ВАТ “СМНВО ім. М.В.Фрунзе” з використанням модернізованих верстатів та сучасної контрольно-виміральної апаратури. Достовірність теоретичних положень роботи підтверджена результатами експериментальних досліджень і практикою промислового впровадження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше обґрунтовані принципи, на підставі яких розроблена інтегрована технологія виготовлення змієвикового елемента з цільної монометалевої оребреної труби з мінімально можливим радіусом вигину, що дозволяє запропонувати виробництво елементів і складання агрегатів зі змієвиковими системами, які відповідають вимогам мінімальної металоємності й більш високої технологічної надійності при виготовленні й безвідмовності в експлуатації. Це забезпечується:

- розробленими критеріями оцінки якості технології виготовлення змієвикових систем і складання агрегатів, які включають ці системи, з урахуванням структури процесу й параметрів виконання різних операцій;

- розробленою математичною моделлю вибору структури змієвикового елемента на основі оцінки його максимальної технологічності;

- розробленою моделлю структури технологічного процесу виготовлення змієвикових елементів з оребреної монометалевої труби з мінімально можливим радіусом вигину.

Практичне значення і реалізація отриманих результатів в машинобудівній галузі полягає в тому, що:

- на основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена і впроваджена у виробництво інтегрована технологія формування змієвикового елемента, що виготовляється з оребреної монометалевої труби і має мінімально можливий радіус вигину;

- запропоновано раціональні, з погляду продуктивності, технологічної надійності процесу і якості одержуваних поверхонь, режими формування оребріння на монометалевих трубах із застосуванням мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ (МОТС) раціональних складів, що дозволяє управляти продуктивністю і якістю поверхонь, які формуються;

- для серійного виробництва обґрунтовані засоби очищення труб, які підвищують продуктивність операцій попереднього й заключного очищення змієвикових елементів, що сприяє підвищенню продуктивності процесу очищення труб;

- результати дисертаційної роботи впроваджені на ВАТ «СМНВО ім. М.В. Фрунзе» (м.Суми), ВАТ «Тростянецький машинобудівний завод».

Річний економічний ефект від впровадження результатів і рекомендацій дисертаційної роботи склав 80 тис. грн.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці раціональної інтегрованої технології виготовлення змієвикових елементів. Основні теоретичні й експериментальні результати досліджень, що викладені в дисертації, отримані особисто здобувачем, а саме:

- одержала подальший розвиток технологія виготовлення змієвикових елементів і складання агрегатів зі змієвиковими системами з урахуванням обмежень, зумовлених експлуатаційними вимогами;

- проведені дослідження на ЕОМ твердотільних асоціативних моделей змієвикових елементів і натурних зразків;

- встановлений вплив ступеня оребріння труби на міцність змієвикових елементів і отримані експериментальним шляхом коефіцієнти, що враховують підкріплюючий ефект ребер.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на: науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів і студентів Сумського державного

університету (м. Суми, 2002, 2003, 2004 рр.); науково-методичних конференціях викладачів Сумського національного аграрного університету (м. Суми, 2003, 2004, 2008 рр.); міжнародній науково-практичній конференції “Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки” (м. Суми, 2002 р.); 9^й, 10^й, 11^й, 12^й, 13^й, 14^й міжнародних науково-методичних конференціях “Технології XXI століття” (м. Алушта, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 рр.). Робота доповідалася в повному обсязі і отримала схвалення на науковому семінарі кафедри "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" НТУ "ХП".

Публікації. По темі дисертації опубліковано 12 наукових праць, з них 7 статей у наукових виданнях, затверджених ВАК України як фахові.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку літератури й додатків. Повний обсяг дисертації складає 181 сторінку; 77 ілюстрацій по тексту; 12 таблиць по тексту, 10 додатків на 18 сторінках; 110 використаних літературних джерел на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи і її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета й задачі досліджень, наукова новизна й практична цінність роботи, наведені відомості про апробацію й стан опублікованості матеріалів дисертаційної роботи.

У першому розділі розглядаються сучасні тенденції у виробництві агрегатів зі змієвиковими системами. Аналіз літератури й практики виробництва показав, що конструкції змієвикових систем містять переважно прямолінійні ділянки оребрених труб і змієвикові елементи, виготовлені з гладкої труби. У технологічному процесі виготовлення агрегатів зі змієвиковими системами операція кріплення прямих ділянок труб зі змієвиковими елементами є основною і визначає якість одержуваного виробу в цілому. Її тривалість може становити до 40% трудомісткості складальних робіт. Існуюче виробництво змієвикових систем не технологічне. Рішенням завдань удосконалювання технології складальних процесів займалися відомі вчені: Арпентьев Б.М., Вейц В.Л., Воронін А.В., Гавриш А.П., Гусєв А.А., Жабін А.І., Замятін В.К., Захаров М.В., Зенкін А.С.,

Корсаков В.С., Косилов В.В., Лебедовський М.С., Мельниченко О.А.,
Муценек К.Я., Новиков М.П.,
Рабинович Л.А., Тимофієв Ю.В., Федотов А.И., Юрєвич Е.И.,
Ямпольський Л.С., Яхимович В.А. та ін.

Рис. 1. Основні параметри змієвикового елемента з оребреної труби з мінімальним радіусом вигину

Вибір способу вигинання визначається, головним чином, вимогами, що висуваються до вигнутої ділянки. Крім того, вибір способу вигину залежить від діаметра труби, товщини її стінки, матеріалу, необхідного радіуса вигину, обсягу й умов виробництва (рис.1).

Практика машинобудування показує, що відпрацювання конструкції виробу на складальну технологічність найбільш ефективна з моменту зародження конструкції на всіх стадіях підготовки технічної документації, створення дослідного, а потім промислового зразків, коли конструктор виробу й технолог-складальник працюють спільно. Однак існуючі методики комплексної оцінки технологічності структури виробу дозволяють провести оцінку конструкції лише на окремих етапах життєвого циклу виробу. При цьому відсутні показники, що використовуються для якісної й кількісної оцінки технологічності агрегатів зі змієвиковими системами, що враховують специфіку виготовлення змієвикових елементів. Крім того, подальше підвищення компактності (зниження металоємності) ЗС обмежено існуючими технологіями, і тільки їхнє вдосконалення дозволяє створювати прогресивні конструкції.

У другому розділі визначена система критеріїв оцінки якості кінцевого виробу, що дозволяє оцінити якість поверхні оребріння, поверхонь ЗЕ на ділянці вигину і якість готового виробу. Сформовано структуру виробу з урахуванням структури технологічного процесу виготовлення й складання. В структуру виготовлення змієвикового елемента входять технологічні процеси одержання окремих поверхонь деталей і складання отриманих деталей у готовий виріб.

Процес виготовлення змієвикої системи складається з трьох етапів, до яких входять 16 операцій (табл.1). В кожний етап включаються однородні по характеру методи обробки різних поверхонь, що виконуються послідовно. Усередині кожного етапу

Таблиця 1.

Етапи операцій виробничого та технологічного процесів виготовлення й складання змієвикої системи

Номер операції	Найменування операцій	Призначення й характеристика етапів та операцій
Е1 - ПІДГОТОВКА ГЛАДКОЇ ТРУБИ		
01	Заготівельна	Одержання заготовки
02	Мийна	Попереднє очищення (розконсервація) заготовки
03	Відрізна	Формування заготовок установленої довжини
04	Гибочна	Формування вигину труби
05	Відрізна	Формування ЗЕ встановлених розмірів
06	Слюсарна	Підготовка торців для наступної операції
Е2 - ПІДГОТОВКА ОРЕБРЕНОЇ ТРУБИ		
01	Заготівельна	Одержання заготовки
02	Мийна	Попереднє очищення (розконсервація) заготовки
03	Відрізна	Різання заготовки на мірні шматки з напуском
04	Накатна	Накатка оребрення
05	Відрізна	Формування заготовок установленої довжини
06	Слюсарна	Підготовка торців для наступної операції
Е3 - СКЛАДАННЯ ЗМІЄВИКОВОГО ЕЛЕМЕНТА		
01	Гальванічна	Заключне очищення (посвітління) виробу
02	Термічна	Підігрів деталей, що з'єднуються
03	Зварювальна	Складання деталей у виріб
04	Слюсарна	Зачищення зварених швів, видалення напливу металу

формується групи узагальнених операцій обробки основних

поверхонь, встановлюється раціональна послідовність операцій однакового рангу.

На рис.2 наведений граф структури процесу виготовлення довільної конструкції змієвикового елемента та показане розміщення проміжних станів елементарних поверхонь. У конструкції розглянутого змієвикового елемента можна виділити по одному типорозміру прямолінійних ділянок оребрених труб і вигинів гладких труб. Круглі вершини графа відповідають гладким поверхням, а квадратні – оребреним.

Рис.2 Граф структури процесу виготовлення змієвикового елемента у виробничому циклі

При моделюванні параметрів оребріння змієвикових елементів рух заготовки розглядається відносно ріжучої частини накатних роликів. При природному способі руху зображуваної точки довжина гвинтової лінії

$$L = \pi r N h \quad (1)$$

де r - радіус заготовки; h - крок оребріння; N – кількість витків.

$$t = \frac{L}{v} \quad (2)$$

де n – частота обертання (об/хв).

Для досліджуваної технології формування змієвикових елементів отримані аналітичні залежності для розрахунку основних технологічних параметрів формування вигинів оребрених труб з мінімальним радіусом. Установлено, що мінімальний радіус вигину оребреної труби залежить від діаметрів труби й отриманого діаметра оребріння, товщини стінки оребріння, кроку оребріння й механічних властивостей матеріалу труби (рис.1):

$$r_{\min} = \dots, \text{ мм.} \quad (3)$$

Розроблена технологія згинання оребрених труб у плоский або просторовий змієвиковий елемент дозволяє реалізувати отримані закономірності й параметри формування змієвикових елементів. Сутність технології полягає в тому, що для одержання якісних змієвикових елементів на ділянці вигину трубу піддають стиску в осьовому напрямку.

Рис.3. Залежність діаметра труби й мінімального радіуса вигину від осьової сили

Обробка масиву експериментальних даних дозволила встановити залежність діаметра змієвикового елемента й мінімально можливого при цьому радіуса вигину від осьового зусилля стиску. Зазначені залежності наведені на рис.3.

Змієвикова система може складатися з декількох змієвикових елементів, сукупності прямих труб і змієвикових елементів або складного змієвикового елемента, що має кілька вигинів в одній або декількох площинах.

На етапі синтезу раціонального варіанта технології виготовлення змієвикової системи необхідно враховувати обмеження по її реалізації. Формування безлічі технологічних процесів відбувається за умови:

де $Z = \bigcap_{\phi \in A} z_{\phi}$, - сукупність існуючих конструкцій ЗЕ, $A = \{1, 2, \dots, \psi\}$.

$Q = \bigcap_{\omega \in B} q_{\omega}$ - окремих елементів, що є присутнім у змієвиковій системі з яких формується безліч варіантів, $B = \{1, 2, \dots, \zeta\}$;

$P = \bigcap_{\tau \in C} p_{\tau}$; - множина методів отримання елементів ЗС, $C = \{1, 2, \dots, \vartheta\}$;

$O = \bigcap_{\chi \in D} o_{\chi}$, - множина засобів технологічного оснащення, здатних реалізувати методи отримання елементів ЗС, $D = \{1, 2, \dots, \nu\}$.

Результатом пошуку є сукупність технологічних процесів:

$$X = \bigcap_{\sigma \in F} x_{\sigma}, \quad F = \{1, 2, \dots, l\}.$$

При цьому можливість реалізації технологічного завдання можна описати виразом., що дає сукупність технологічних процесів виготовлення змієвикових систем (рис.4).

Рис.4. Схема синтезу раціонального варіанта технології виготовлення змієвикової системи

У третьому розділі проведено порівняння характеристик міцності гладких і оребрених труб, що дозволяє визначити перевагу однієї з них а також досліджено застосування МОТС при виготовленні змієвикових елементів. Зразками були мірні шматки

гладких і оребрених труб, що мають однакову товщину стінки й довжину. В якості гладкої труби застосовувалися зразки типорозмірів: 9x1,4; 13x1,9; 19x3,1 з алюмінієвого сплаву АМц. Цим зразкам зіставлялися оребрені труби, які ранжирувалися по висоті оребріння. Випробування труб здійснювалося на стенді СИ-320М, що призначений для гідравлічних випробувань на міцність-щільність.

На першому етапі здійснювалися аналітичні розрахунки на міцність гладких труб. Розрахунок гладкої труби на міцність здійснювався по четвертій (енергетичній) теорії міцності.

На другому етапі проводилися натурні випробування серії з 10 зразків кожного типорозміру, що виготовлені зі сплаву АМц, до руйнування. Перед проведенням експериментів контролювалися геометричні параметри заготовок і відповідність їх вимогам креслення. Проведені експерименти дозволили встановити, що руйнування труб 9x1,4 відбувається при тиску 25,2...27,4 МПа; труб 13x1,9 - при тиску 23,8...25,5 МПа; труб 19x3,1 - при тиску 25,7...27,8 МПа. При цьому розбіжність експериментальних даних з розрахунковими не перевищувала $\pm 5\%$.

Рис. 5. Розподіл напруг по перетину оребреної труби

На третьому етапі були створені твердотільні асоціативні моделі труб і на ЕОМ здійснена імітація навантаження. Моделювання було реалізовано в системі автоматизованого проектування SolidWorks 2005, для аналізу напруг застосований додаток COSMOSXpress. Була змодельована труба 13x1,9 під впливом внутрішнього тиску, величина якого була прийнята такою, що дорівнює максимально припустимому тиску, розрахованому по четвертій теорії міцності для матеріалу АМц (24 МПа). При цьому встановлене значення максимальної еквівалентної напруги в стінці труби, яке становить 112,4 МПа, що відрізняється від розрахованого значення на 2%. Це підтвердило адекватність розробленої моделі гладкої труби та дає підстави для застосування її для наступних експериментів.

Експериментальні дослідження оребрених труб. У ході експерименту зразки трьох типорозмірів піддані натурним випробуванням до руйнування й імітації навантаження на ЕОМ.

Натурним випробуванням піддавалися серії з 10 зразків кожного типорозміру, виготовлених зі сплаву АМц, до руйнування. Імітація навантаження оребрених труб на ЕОМ здійснювалася у два етапи. На першому етапі створені твердотільні моделі труб, аналогічні тим, що підлягали натурним випробуванням, і перевірена адекватність розроблених моделей. Для труби $9 \times 11,8 \times 18,2 \times 2,5 \times 0,3$ значення тиску руйнування, що отримане на ЕОМ, склало 27,4 МПа; для труби $13 \times 16,8 \times 26 \times 2,8 \times 0,5$ – 27,6 МПа; для труби $19 \times 25,2 \times 39 \times 3 \times 0,5$ – 27,5 МПа. Оскільки відхилення експериментальних даних від результатів, що отримані на ЕОМ, лежить у межах $\pm 5\%$, то комп'ютерну модель вважаємо адекватною, і подальше дослідження оребрених труб проводимо на ЕОМ. На другому етапі для з'ясування характеру впливу оребріння на міцність труби створені твердотільні моделі оребрених труб, що мають однаковий внутрішній діаметр і товщину стінки й п'ять різних висот оребріння для кожного типорозміру. Труби піддавалися впливу внутрішнього тиску величиною 20 МПа, при цьому фіксувалася максимальна еквівалентна напруга в стінці труби. За результатами проведених випробувань встановлено, що оребріння робить підкріплювальний ефект на поверхні труби будь-якого типорозміру. Так, для труби $9 \times 1,4$ наявність оребріння висотою 0,6...5,8 мм дозволило знизити напругу в стінці в 1,04...1,17 рази відповідно; для труби $13 \times 1,9$ з оребрінням висотою 0,6...8,6 мм ці показники склали 1,08...1,3 рази; для труби $19 \times 3,1$ з оребрінням висотою 0,9...12,9 мм ці показники склали 1,06...1,27 рази.

Для встановлення залежності максимальної еквівалентної напруги в трубі від товщини стінки досліджувалися твердотільні моделі труб, що відрізняються внутрішнім діаметром і мають однакову товщину стінки, а також товщину, крок і висоту оребріння. Досліджувалися труби діаметром умовного проходу 9, 13 і 19 мм із товщиною стінки 1,4 мм, кроком оребріння 2,5 мм, товщиною ребра 0,3 мм, висотою оребріння 3,2 мм. Результати випробування моделей наведені в табл.2. Наприклад, для труби з параметрами $d_{\text{вн}} = 9$ мм, $d_{\text{н}} = 11,8$ мм, $D_{\text{н}} = 18,2$ мм, $S = 2,5$ мм і $\Delta = 0,3$ мм ($9 \times 11,8 \times 18,2 \times 2,5 \times 0,3$) при тиску навантаження 10 МПа напруга в стінці труби, що отримана за результатами обчислювальних експериментів, склала 40,18 МПа.

Таблиця 2.

Результати імітації випробування оребрених труб на ЕОМ

Типорозмір, мм	Тиск навантаження, МПа	Напруга в стінці труби, МПа	Висота оребріння, мм
9x11,8x18,2x2,5x0,3	10	40,18	h=3,2
	15	60,28	
	20	80,37	
	25	100,5	
	30	120,6	
13x15,8x22,2x2,5x0,3	10	52,11	
	15	78,16	
	20	104.2	
	25	132.1	
	30	156.3	
19x21,8x28,2x2,5x0,3	10	69,67	
	15	104,5	
	20	139,3	
	25	174.2	
	30	209	

За результатами проведених експериментів побудовані графіки, що відображують залежність максимальної еквівалентної напруги в трубі від висоти оребрення (рис.6).

Рис.6. Залежність максимальної еквівалентної напруги в трубі від висоти оребріння

У технологічному процесі освітлення оребреної алюмінієвої труби рекомендується робити в розчинах наступного складу: їдкий натр - 10...20 г/л; тринатрийфосфат - 30...50 г/л ; рідке скло - 8...10 г/л.

Тривалість обробки алюмінієвих сплавів - 10...30 хв при температурі розчину 50...60°C. Після посвітління оребрена труба промивається в проточній воді й висушується на повітрі.

Для знежирення й травлення також застосовується 10...20%-ний водяний розчин їдкого натру. Обробка відбувається протягом 1,5...2,0 хв., а після травлення промивають труби в холодній воді й просушують.

У четвертому розділі експериментально досліджені вузли кріплення змієвикових систем, які є найбільш уразливим місцем агрегатів зі змієвиковими системами з погляду міцності й

герметичності. Оскільки існуючі конструкції змієвикових систем передбачають кріплення змієвикових елементів з трубною решіткою, то оцінки надійності змієвикових систем необхідно провести дослідження вузлів кріплення. Для забезпечення якісного з'єднання труби із трубними решітками необхідно надійне їхнє кріплення як з боку пучка труб, так і з боку виступаючої частини труби. Для запобігання осьового переміщення трубних решіток з боку пучка труб, в основному, прийнято формувати гофр, а з боку замикаючої головки можливе формування з'єднань за допомогою різних конструктивних елементів.

Для перевірки ресурсу й експлуатаційної надійності змієвикових систем були проведені прискорені випробування моделей і лабораторних зразків.

Рис.7. Схеми іспитових моделей для дослідження герметичності вузлів кріплення змієвикових систем

У з'єднаннях, що працюють при температурах до $+150^{\circ}\text{C}$, застосовувалися ущільнювальні кільця різних перетинів, розміри яких вибираються відповідно до ГОСТ 9833-81. Вони виготовлені з гуми марок ІРП-1314, ІРП-1225а, ІРП-3032 та ін. на основі фторкаучука. Для з'єднань, що працюють при більш високих температурах, використовуються ущільнення із фторопласта, пароніта й спеціальні високотемпературні рідкі анаеробні суміші. Дослідження проводилися на іспитових стендах, у яких випробувалися зразки-свідки по схемах, наведених на рис. 7 (*а* – схема випробувань із нежорстко закріпленими трубними решітками; *б* – схема для випробування на герметичність при подачі тиску в радіальному й осьовому напрямках зовні труби; *в* – схема для випробування на герметичність при подачі тиску в радіальному напрямку зовні труби; *г* – схема для випробування на герметичність при подачі тиску в радіальному й осьовому напрямках усередині труби; *д* – схема для дослідження тонких трубних решіток).

Для дослідження герметичності змієвикових систем при багаторазовому повторенні циклів нагрівання-охолодження були проведені термоциклічні випробування. На першому етапі з'єднання були випробувані на герметичність при гідравлічному тиску 2,0 МПа

протягом 900 с. Після накладення термоциклів розгерметизації вузлів кріплення не виявлено.

На другому етапі випробувань з'єднання піддавалися впливу гідравлічного тиску 2 МПа при чергуванні циклів нагрівання до температури +80°C и наступного охолодження до +20°C до порушення герметичності з'єднання. Установлено, що втрата герметичності з'єднань із застосуванням оребрених труб відбувалася при тиску 16...18 МПа, а із застосуванням гладких труб - при 15...16 МПа й більш незалежно від типорозміру труб і кількості термоциклів. При випробуванні з'єднань, що використовують оребрені труби, герметичність вузла кріплення не порушувалася до розриву оболонки труби. При випробуванні з'єднань гладких труб із трубними решітками для тих самих типів з'єднань по різних схемах порушення герметичності відбувалося внаслідок прояву різних дефектів. На рис. 8 представлені результати випробувань клинового з'єднання.

Рис. 8. Результати випробування клинового з'єднання:

a – модель з'єднання без навантаження; *б* – розподіл напруг у моделі із зовнішньої сторони; *в* - розподіл напруг у моделі збоку дії навантаження.

На рис.9 представлена порівняльна характеристика міцності різних типів з'єднань.

Рис. 9. Порівняльна характеристика міцності різних типів з'єднань при випробуванні гідравлічним тиском

Для оцінки якості заключної обробки поверхонь змієвикових систем, що сполучаються, досліджувалися вузли кріплення, які не мають ущільнювальних елементів. Встановлено, що втрата герметичності вузлів кріплення, які мають попередньо очищені деталі, настає при тиску 15...18 МПа, а з неочищеними деталями - при тиску 7...10 МПа залежно від типу з'єднання (рис.10).

Досліджувалися аналогічні з'єднання, але з обробленими поверхнями, що сполучалися, до шорсткості Ra 0,8, Ra 3,2 і Ra 6,3. При цьому встановлено, що герметичність очищених з'єднань, оброблених до Ra 0,8, практично не змінилася, а неочищених – знизилася. Герметичність очищених з'єднань, оброблених до Ra 3,2, незначно зменшилася, а неочищених – підвищилася.

Рис.10. Герметичність різних типів очищених і неочищених з'єднань,

оброблених до Ra1,6: *a* - комбіноване з'єднання; *б* - з'єднання з радіальним розширенням труби в решітці; *в* - з'єднання з гофром; *г* - з'єднання з відбортовкою.

Також був проаналізований вплив твердості матеріалів деталей, що сполучаються, на герметичність вузлів кріплення. Експериментально встановлено, що для забезпечення герметичності вузлів кріплення твердість матеріалу трубної решітки повинна бути в 2...3 рази вище, ніж матеріалу труби.

У п'ятому розділі представлені відомості про впровадження результатів дисертаційної роботи й наведений розрахунок отриманого при цьому економічного ефекту.

На ВАТ «Гростянецький машинобудівний завод» відповідно до плану впровадження нових технологій здійснена розробка технології розконсервації й заключного очищення труб, а також технологій формування оребрення на суцільнотягнутих монометалевих трубах і гнуття оребрених труб у площинні змієвикові елементи замість існуючої технології формування гвинтових змієвикових елементів із гладких труб. Річний економічний ефект від впровадження розробленої технології - 25 тис.грн.

Впровадження технології оребріння монометалевих труб і виготовлення з них змієвикових елементів на ВАТ СМНВО ім. М.В.Фрунзе дозволило внести зміни в конструкцію охолоджувачів підшипникових вузлів агрегатів електронасосних моделей АЦНА 50-90, АЦНА 25-100, АЦНА 60-185. Завдяки цьому була знижена металоємність конструкції на 25% і зменшена вартість одиниці продукції на 28%. Річний економічний ефект від впровадження конструктивних змін у структурі виробу, виконаних на основі дисертаційної роботи, склав 55 тис.грн.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу розробки високоефективної та надійної інтегрованої технології виготовлення змієвикових елементів із суцільної монометалевої оребреної труби та складання їх у змієвикові системи.

1. Запропоновано обґрунтовані принципи, на підставі яких може бути розроблена інтегрована технологія виготовлення змієвикових елементів з суцільної монометалевої оребреної труби, що забезпечує

виробництво агрегатів зі змієвиковими системами, які відповідають вимогам мінімальної металоємності, високої технологічної надійності та безвідмовності в експлуатації.

2. Розроблено систему критеріїв оцінки якості змієвикової системи з урахуванням структури технологічного процесу виготовлення змієвикових елементів, що дозволяє забезпечити відпрацьовування виробу на технологічність.

3. Розроблено математичні моделі структури змієвикового елемента, виходячи з структури технологічного процесу виготовлення його з оребрених труб, що дозволяє розрахувати площу поверхні змієвикової системи й мінімальний час, необхідний для формування оребріння циліндричного й конічного змієвикових елементів з мінімально можливим радіусом вигину.

4. Встановлено, що використання раціональних складів МОТС та вибір науково-обґрунтованих параметрів накатки ребер на монометалевих трубах з різних сплавів кольорових металів значно підвищує ефективність інтегрованої технології виготовлення змієвикових елементів.

5. Запропоновано раціональні способи попереднього й заключного очищення гладких і оребрених труб і встановлені закономірності їх раціонального застосування в технологічному процесі з наведенням рекомендацій щодо складу мийних засобів, їх концентрації, температури й часу обробки.

6. Установлено розподіл напруг по перетину оребреної труби й закономірності впливу підкріплюючого ефекту оребрення й жорсткості ребра труби, що дозволить зменшити металоємність змієвикових елементів шляхом внесення змін в існуючі конструкції агрегатів зі змієвиковими системами, знизити вартість і підвищити надійність.

7. Досліджено герметичність вузлів кріплення найпоширеніших типів з'єднань труба-решітка та встановлено, що герметичність вузлів кріплення, деталі яких піддані заключному очищенню, в 1,5...2 рази вище, ніж з неочищеними деталями.

8. Здійснено промислове впровадження результатів досліджень на ВАТ «Тростянецький машинобудівний завод» та ВАТ «СМНВО ім. М.В. Фрунзе», яка полягає в розробці технології формування оребріння на суцільнотягнених монометалевих трубах з

застосуванням розконсервації й заключного очищення і виготовлення плоских змієвикових елементів з оребрених труб. Сумарний очікуваний економічний ефект від впровадження результатів дисертаційної роботи склав 80 тис.грн.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Петрівний В.М. Вплив зусилля деформування на герметичність і міцність з'єднань з натягом /Ремньов О.І., Петрівний В.М. // Вісник Сумського національного аграрного університета: - Суми: СНАУ. –2001. № 7.–с.110 –115

Здобувач провів обробку результатів досліджень

2. Петрівний В.М. Термоциклічні випробування з'єднань на герметичність /Петрівний В.М., Ремньов О.І, Захаров М.В. // Вісник Сумського національного аграрного університета: - Суми: СНАУ. – 2002. № 8. – с. 126 – 131.

Здобувач провів лабораторні випробування з'єднань на герметичність.

3. Петривный В.Н. Новая технология гибки монометаллических цельнооробранных труб из цветных металлов /Ремнев А.И., Петривный В.Н. // Вісник Національного технічного університета «ХПІ»: - Харків: НТУ «ХПІ». - 2002. №19, с. 7 – 14.

Здобувач провів дослідження та розрахунок геометричних параметрів гнуття труб

4. Петрівний В.М. Розробка і впровадження нових мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ при накатці оребріння на монометалічних трубах // Вісник Сумського національного аграрного університета: - Суми: СНАУ. – 2004. № 11. – с. 106 – 111.

5. Петривный В.Н. Особенности расчета изгиба оребренных монометаллических труб для компрессорных систем теплообмена /Ремнев А.И., Петривный В.Н. // Компресорне та енергетичне машинобудування. - Суми. 2007. - № 2 - С.37 - 43.

Здобувач виконав розрахунки геометричних параметрів змієвикових елементів.

6. Петривный В.Н., Оценка качества изгиба оребренных монометаллических труб для компрессорных систем теплообмена

/Петривный В.Н., Ремнев А.И. // Компресорне та енергетичне машинобудування. - Суми. 2007. № 3 - С.67-70.

Здобувач запропонував методику оцінки якості змієвикових елементів.

7. Петривный В.Н. Разработка и исследование технологии предварительной и заключительной обработки оребренных труб // Вісник Сумського Національного аграрного університету. - Суми: СНАУ. - 2008. - Вип. 11 - С. 110 - 114.

8. Петривный В.Н., Методика расчета гибки оребренных монометаллических труб /А.И. Ремнев., В.Н. Петривный, С.И. Петривный // Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета: - Сумы: СумГУ. - 2002. - Вып. 4. - С.75-76.

Здобувач розробив методику розрахунку параметрів змієвикових елементів.

9. Петривный В.Н. Гибка оребренных труб с малым радиусом /И.П. Малицкий, О.В. Кадурын, В.Н. Петривный, А.И. Ремнев // Материалы научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов инженерного факультета: - Сумы: СумГУ. - 2003. - Вып. 4. - С.4-5.

Здобувач провів експериментальні дослідження нового способу гнуття труб.

10. Петривный В.Н. Испытания теплообменных энергетических установок нового поколения /Н.В. Захаров, А.И. Ремнев, В.Н. Петривный // Технологии XXI века: Сборник научных статей по материалам 9-й международной научно-методической конференции./ Под ред. д.т.н., проф. Захарова Н.В. - Сумы: СНАУ. - 2002. - С.25-33.

Здобувач провів експериментальні випробування теплообмінних енергетичних установок.

11. Петривный В.Н. Разработка методики классификатора соединений с натягом /А.И. Ремнев, В.Н. Петривный // Технологии XXI века: Сборник научных статей по материалам 10-й международной научно-методической конференции./ Под ред. д.т.н., проф. Захарова Н.В. - Сумы: СНАУ. - 2003. - С.36-40.

Здобувачем запропонована методика класифікатора з'єднань труб з трубними решітками.

12. Петривный В.Н. Исследование и выбор оптимального состава СОЖ при оребрении монометаллических труб из алюминиевых сплавов /А.И. Ремнев, В.Н. Петривный // Технологии XXI века: Сборник научных статей по материалам 11-й международной научно-методической конференции./ Под ред. д.т.н., проф. Захарова Н.В. – Сумы: СНАУ. – 2004. - С.32-36.

Здобувачем досліджено мастильно-охолоджуючі рідини при оребренні труб з алюмінієвих сплавів.

13. Петривный В.Н. Технологическое обеспечение высокоэффективного изготовления элементов и сборки агрегатов со змеевиковыми системами / Петривный В.Н., Тимофеев Ю.В. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: - Харків: НТУ «ХПІ». - 2009. № 1, с.101-110.

Здобувачем розроблена інтегрована технологія виготовлення і складання агрегатів, що включають у себе змєєвикові системи.

АНОТАЦІЇ

Петривный Виталий Николаевич «Технологическое обеспечение высокоэффективного механосборочного производства агрегатов со змеевиковыми системами». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». Харьков, 2009.

Диссертация посвящена совершенствованию технологии изготовления змеевиковых элементов и сборки змеевиковых систем из оребренных труб.

Разработана система критериев оценки качества змеевиковой системы с учетом структуры технологического процесса изготовления змеевиковых элементов, позволяющая обеспечить отработку изделия на технологичность, а так же оценить качество поверхности оребрения, поверхность змеевикового элемента на участке изгиба и качество готового изделия.

Разработка математической модели структуры технологического процесса изготовления змеевикового элемента позволила

усовершенствовать технологию гибки оребренных труб с предварительным осевым напряжением сжатия, что в свою очередь позволило гнуть трубы с минимально возможным радиусом изгиба.

Рассмотрен процесс синтеза рационального варианта технологии изготовления змеевиковых элементов, позволяющий выявить конструктивные элементы, способствующие повышению надежности змеевиковых элементов. Разработана модель направленного выбора технологии изготовления змеевиковой системы, позволяющая осуществлять поиск рационального варианта технологического процесса формирования змеевиковой системы, обладающей максимальной надежностью.

Для разработанной технологии формирования змеевиковых элементов получены аналитические зависимости для расчета основных технологических параметров изгибов оребренных труб с малым радиусом.

На основе анализа существующих методов изготовления агрегатов со змеевиковыми системами сформулированы новые принципы технологии оребрения труб с применением СОТС, формирования змеевиковых элементов из цельного куска оребренной трубы и сборки змеевиковых систем. Их реализация позволила уменьшить утонение стенки оребренной трубы, минимизировать объем занимаемый змеевиковым элементом и повысить технологическую и эксплуатационную надежность агрегатов со змеевиковыми системами.

Установлено, что для серийного производства наиболее приемлемым является химический способ предварительной и заключительной очистки труб. Для его реализации разработаны рекомендации по использованию моющих препаратов типа МЛ, обеспечивающих высокое качество очистки и безопасность в работе.

Установлено, что оребренные трубы обладают большей прочностью чем гладкие такого же типоразмера, т.е. оребрение оказывает подкрепляющий эффект на поверхности трубы любого типоразмера. Полученные теоретические разработки проверены в ходе натуральных испытаний и вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: технология изготовления и сборки, интегрированная технология, технологичность конструкции, моно

металлические оребренные трубы, змеевиковый элемент, змеевиковая система, трудоемкость изготовления, прочность, металлоемкость.

Петрівний Віталій Миколайович "Технологічне забезпечення високоефективного механоскладального виробництва агрегатів зі змієвиковими системами". - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". Харків, 2009.

Дисертація присвячена вдосконалюванню інтегрованої технології виготовлення змієвикових елементів і складання змієвикових систем з оребрених труб.

Розроблено систему критеріїв оцінки якості змієвикої системи з урахуванням структури технологічного процесу виготовлення змієвикових елементів.

Розробка математичної моделі структури технологічного процесу виготовлення змієвикового елемента дозволила вдосконалити технологію гнуття оребрених труб з попереднім осьовим напруженням стиску, що, в свою чергу, дозволило гнути труби з мінімально можливим радіусом вигину.

На основі аналізу існуючих методів виготовлення агрегатів зі змієвиковими системами вироблені критерії оцінки технологічної надійності й ефективності виготовлення й складання агрегатів зі змієвиковими системами. Сформульовано нові принципи технології оребрення труб, формування змієвикових елементів із цільного шматка оребреної труби й складання змієвикових систем. Їх реалізація дозволила зменшити стоншення стінки оребреної труби, мінімізувати обсяг, що займає змієвиковий елемент і підвищити надійність агрегатів зі змієвиковими системами.

Розглянуто процес синтезу раціонального варіанта технології виготовлення змієвикових елементів, що дозволяє виявити конструктивні елементи, що сприяють підвищенню надійності змієвикових елементів. Розроблено модель спрямованого вибору технології виготовлення змієвикої системи, яка дозволяє здійснювати пошук раціонального варіанта технологічного процесу формування змієвикої системи, що має максимальну надійність.

Отримані теоретичні розробки перевірені в ході натурних випробувань і обчислювальних експериментів.

Ключові слова: технологія виготовлення й складання, інтегрована технологія, технологічність конструкції, монометалеві оребрені труби, змієвиковий елемент, змієвикова система, трудомісткість виготовлення, міцність, металоємність.

Petrivnyj Vitaly Nikolaevich «Technological providing of high-efficiency mechanical-assembling production of aggregates with the worm-pipe systems». - the Manuscript.

Thesis for a degree of the Candidate of technical sciences in a speciality 05.02.08 – Technology of mashine-building. The National Technical University «Kharkov polytechnical institute». Kharkov, 2009.

The dissertation is devoted to perfection of manufacturing techniques serpentine elements and assembly serpentine systems from ribbed pipes.

The system of criteria of an estimation of quality serpentine systems is developed in view of structure of technological process of manufacturing serpentine elements.

Development of mathematical model of structure of technological process of manufacturing serpentine an element has allowed to improve technology long-length bend ribbing pipes with a preliminary axial pressure of compression that has in turn allowed to bend pipes with minimally possible radius of a bend.

On the basis of the analysis of existing methods of manufacturing of units with serpentine systems new principles of technology ribbing pipes, formation serpentine elements from an integral piece ribbing pipes and assembly serpentine systems are formulated. Their realization has allowed to reduce attenuation walls ribbing pipes, to minimize volume borrowed serpentine an element and to raise reliability of units with serpentine systems.

Process of synthesis of a rational variant of manufacturing techniques serpentine elements is considered, allowing to reveal the constructive elements promoting increase of reliability serpentine elements. The model of the directed choice of manufacturing techniques serpentine systems is developed, allowing to carry out search of a rational variant of technological process of formation serpentine system possessing maximum reliability.

The received theoretical development are checked up during natural tests and computing experiments.

Key words: manufacturing techniques and assembly, adaptability to manufacture of a design, technological reliability, serpentine an element, serpentine system, labour input of manufacturing, metal consumption, durability, radius of a bend, ribbing.

Підп. до друку 03.03.2009.
Наклад 100 прим.
Замовлення № 142

Формат 60x90/16.
Обл. -вид.арк.0,9.
Ум.друк.арк. 1,0.

Папір ксероксний.
Гарнітура Times
New Roman Cyr.
Друк офс.

Видавництво СумДУ при Сумському державному університеті.
40007, м. Суми, вул. Римського- Корсакова, 2.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру ДК
№3062 від 17.12.2007р.

Друкарня СумДУ. 40007, м. Суми, вул. Римського- Корсакова, 2.