

Тришевський О.І.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П.Василенка,
м. Харків, Україна
E-mail: 3shev@ukr.net

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СПІРАЛЬНИХ
ТЕПЛООБМІННИКІВ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ
КОНСТРУКЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЇХ
СЕРДЕЧНИКІВ**

УДК 621.771.63;621.981.3

Розроблена конструкція і випробувана нова технологія виготовлення полегшених профілів для сердечників спіральних теплообмінників, отриманий експериментальний профіль. Розглянуті результати досліджень зусиль і моментів, що крутять, при формуванні полегшених панелей спіральних теплообмінників, запропонований склад устаткування спеціалізованої лінії для їх виробництва.

Ключові слова: спіральний теплообмінник, сердечник теплообмінника, валкове формування, гофр, рифлення, калібрування валків

Вступ, актуальність і постановка проблеми. У багатьох галузях промисловості, в технологічних процесах виготовлення готової продукції широко використовуються теплообмінні процеси, здійснювані в теплообмінниках різних типів і конструкцій. В даний час найбільш поширено два види теплообмінників: трубчасті і регенеративні [1]. Трубчасті теплообмінники громіздкі. Для зменшення їх габаритів необхідно переходити до труб малого діаметру, що можливо до певної межі, нижче за яку виникають труднощі технологічного порядку.

Регенеративні теплообмінники компактніші. Принцип їх дії заснований на проходженні потоків середовища, що охолоджується, по каналах сердечника, що знаходиться в корпусі тепло-обмінника.

У ряді виробництв, наприклад, в харчовій і переробній промисловості, в процесах здобуття сирого цукрового соку, зернових сумішей, рослинної олії, в процесах виробництва спирту і так далі потрібний теплообмін між середовищами з високою мірою в'язкості і забруднення включаючи середовища, що містять в об'ємі тверді волокна або частки різного умовного діаметру.

Завдання здійснити теплообмін між дуже брудними або дуже в'язкими середовищами завжди було складним. Особливість подібних процесів полягає в низьких коефіцієнтах тепловіддачі, що у свою чергу призводить до низьких коефіцієнтів теплопередачі і вимагає величезних теплообмінних поверхонь. Більшість з вищезгаданих проблем була вирішена з появою **спіральних теплообмінників** (рис.1).

Творці подібних конструкцій вирішили поліпшити теплообмінні процеси у виробі, закрутивши сталевий лист в спіраль і направити потоки по обох сторонах стінки листа. Ідея виявилася дуже зручною, оскільки дозволяє змінювати відстань між листами залежно від міри в'язкості або забрудненості теплоносіїв, що беруть участь в теплообміні в спіральному теплообміннику. Подібна ідея дозволила проводити чищення спіральних теплообмінників простим способом, відкриваючи кришки з обох сторін теплообмінної поверхні і промиваючи на просвіт усю теплообмінну поверхню.

Концепція спірального теплообмінника побудована на закручуванні 2-х або 4-х смуг метала навколо центральної труби. Смуги зварюються між собою за допомогою розділових шпильок (проставок) на певній дистанції, створюючи 2 або 4 канали рівномірної ширини. Центральна труба розділена на 2 частини, утворюючи вхідний і вихідний колектор. Уся конструкція поміщається в циліндричний корпус. Зовнішні кінці листів

приварюються уздовж колекторів, утворюючи вхідні і вихідні патрубки з бічної сторони корпусу.

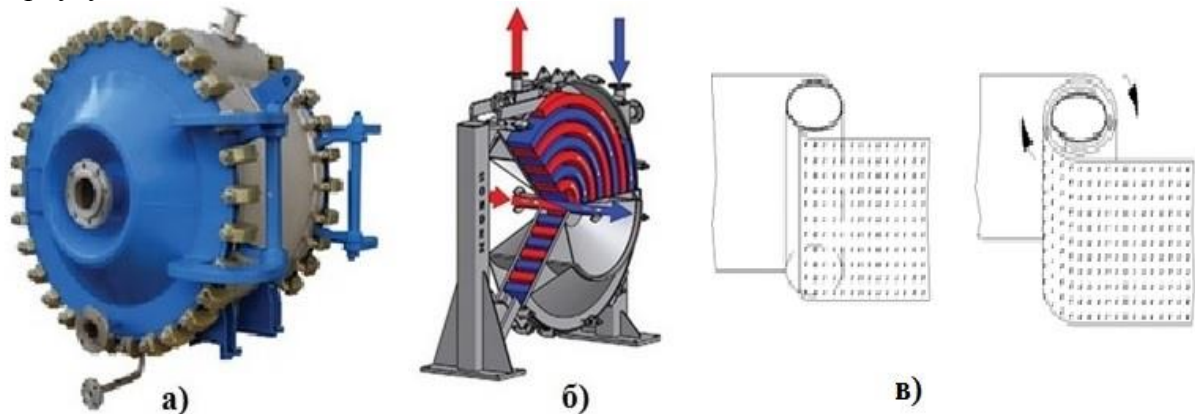


Рис.1 Загальний вигляд (а), принцип дії (б) і схема виготовлення сердечника (в) спірального теплообмінника

В процесі теплообміну середовища рухаються в каналах по концентричних колах, а раз-ділильні шпильки (проставки) створюють істотну турбулентність при низьких швидкостях і відповідно низьких числах Рейнольдса (Re). Ця особливість конструкції дозволяє добитися високої теплопередачі навіть для в'язких і дуже забруднених середовищ. Висока турбулентність в каналах знижує відкладення забруднень. Перераховані чинники дозволяють виготовляти компактні теплообмінники, знижуючи їх металоємність та вартість.

Оскільки поліпшення якості продукції і зниження металоємності машин і механізмів, що випускаються, шляхом підвищення міцкісних характеристик конструкційних елементів, що застосовуються в них, є однією з актуальних проблем сучасного машинобудування, одним з першочергових завдань, що стоять перед конструкторами при розробці машин і механізмів нової техніки, являється, разом із створенням раціональних конструкцій, зниження металоємності виробів. Рішення цієї задачі дозволяє, як підвищувати техніко-економічні показники створюваних машин при їх експлуатації, так і раціонально використати не заповнювані природні ресурси, наприклад, залізну руду, що є початковою сировиною для виробництва сталі - основного конструкційного матеріалу сучасності.

Завдання зниження металоємності конструкцій викликає необхідність при їх розробці використати спеціальні технічні рішення, а також створювати технології, що дозволяють підвищити міцність, жорсткість і несучу здатність нової техніки.

Основні результати досліджень Одним з можливих шляхів удосконалення спіральних теплообмінників є збільшення поверхні теплообміну сердечника при одночасному зниженні його ваги, за рахунок зменшення товщини стінок (перегородок).

У роботах [2,3] наводяться результати дослідження технології попереднього зміцнення ділянок листової заготовки для виготовлення швелера, корита і інших типів гнутих профілів за рахунок попереднього формування на них рифлень. Ця технологія дозволила внаслідок деформаційного зміцнення підвищити межу плинності і тимчасовий опір розриву металу заготовки і за рахунок цього виготовляти профілі на 20÷30% легші і рівно міцні звичайним не зміцненим профілям. Використання подібної технології дозволяє, як понизити товщину листового матеріалу, що застосовується для виготовлення сердечника теплообмінника за рахунок нанесення на його ділянках дрібних рифлень, так і підвищити тепловіддачу такого сердечника за рахунок збільшення площі його стінок.

Таким чином, для вдосконалення конструкції і підвищення ефективності роботи регенеративних теплообмінників потрібна розробка нової конструкції і технології виготовлення їх сердечників. Така технологія повинна передбачати попереднє формування за рахунок місцевого витягу металу на листовій заготовці у валках рифлень, що зміцнюють стінки сердечника і збільшують їх площу, і подальшу завивку зміцненої заготовки в двохвиткову спіраль для створення безпосередньо сердечника теплообмінника.

Відповідно до габаритів існуючих теплообмінників була розроблена конструкція профілю заготовки для виготовлення полегшеного сердечника (рис. 2).

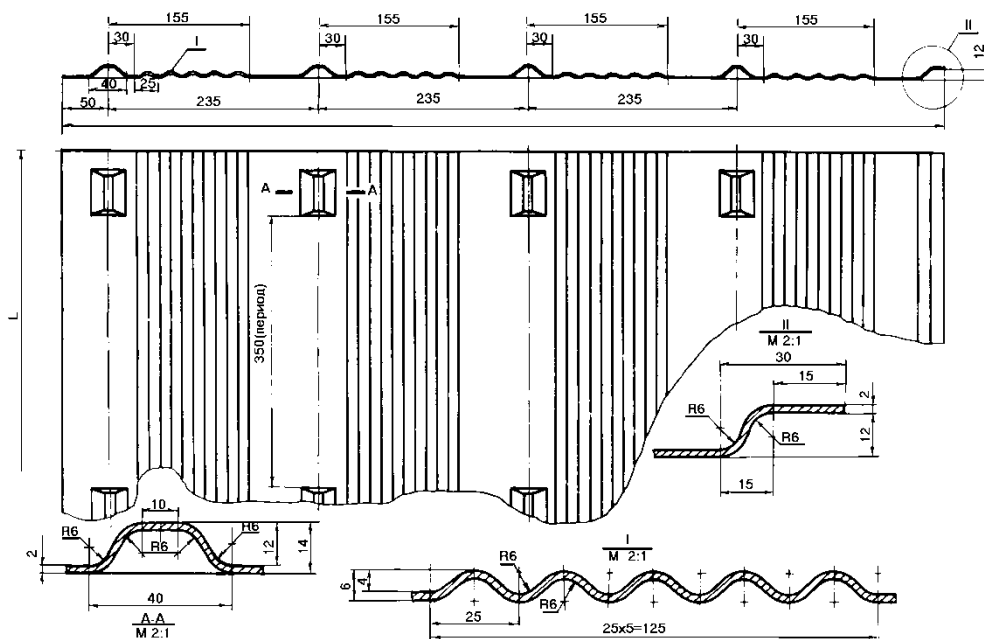


Рис.2 Профіль теплообмінника

Профіль є листом шириною 990 мм з нержавіючої сталі 12X18Н10Т товщиною 2 мм з односторонньою відбортовкою заввишки 12 мм. По ширині профілю розташовані чотири однакові ділянки, що містять групу з п'яти подовжніх рифлень заввишки 4 мм і шириною 25 мм. На плоских ділянках профілю між рифленнями з періодом 350 мм нанесені невеликі подовжні гофри заввишки 12 мм, завдовжки 50 мм, що періодично повторюються, які при подальшій завивці плоскої заготовки в двохвиткову спіраль грають роль проставок, та забезпечують рівномірність проміжок між сусідніми витками спіралі.

Оскільки габаритні розміри профілів перевищують розміри штампового простору пресового устаткування, що випускається, то виготовлення їх методом штампування не представляється можливим. Враховуючи це, був розроблений новий технологічний процес виготовлення профілів заготовки сердечника теплообмінників формуванням у валках високопродуктивних формувальних станів.

Відробіток нової технології виготовлення полегшених сердечників, дослідження енергосилових параметрів процесу формоутворення, якості отриманих профілів і їх механічних характеристик робилися на профілезгинальному стані 1÷4×50÷300. Як експериментальний профіль був прийнятий правий характерний елемент профілю сердечника теплообмінника шириною 285 мм, що містить односторонню відбортовку, п'ять подовжніх рифлень і один ряд гофрів, що періодично повторюються в подовжньому напрямі.

Зважаючи на те, що формоутворення рифлень і гофрів за рахунок місцевого стоншування матеріалу заготовки супроводжується значними зусиллями деформації, що діють на робочі валки, при розробці технології, щоб уникнути перевантаження кліті, було

передбачено формування п'яти рифлень, гофрів і відбортовки на заготовці робити в два етапи:

– **на першому етапі** робити попереднє одночасне формування 5 рифлень, гофрів і відбортовки на половину висоти відповідного елемента на готовому профілі: рифлення і гофри формувати за рахунок місцевого витягу металу заготовки радіусами R6, R11, і заввишки 2,5 мм і 6 мм відповідно. Причому, на першому етапі гофр формувати напівкруглої форми на всю довжину заготовки (т. є. наскрізним, а не таким, що періодично повторюється).

– **на другому етапі** робити остаточну доформовку до заданої висоти рифлень, гофрів і відбортовки (4 і 12 мм відповідно), причому, доформовку гофрів здійснювати за рахунок місцевого витягу металу при поєднанні опуклого елемента нижнього валка з відповідною западиною верхнього валка. При цьому синхронізація обертання валків в кліті другого етапу формування забезпечувалася шестерінчастою парою з передатним відношенням $i=2$.

Таким чином, при формоутворенні гофрів на другому етапі формування періодично здійснюється їх доформовка на задану кресленням висоту та довжину (14 і 50 мм відповідно), а також осідання і розгладження відформованого на першому етапі наскрізного гофра до плоскої ділянки на проміжках профілю між гофрами, що періодично повторюються.

Розроблене для здійснення цієї технології калібрування валків приведене на рис. 3.

Після завалки в робочі кліті стану $1 \div 4 \times 50 \div 300$ валків, виготовлених і зібраних згідно калібруванню (рис.3) було зроблено дослідне профілювання. Візуальний огляд показав якісний стан поверхні профілів. Тріщин і рисок не спостерігалось. Розміри профілів відповідали розмірам креслення.

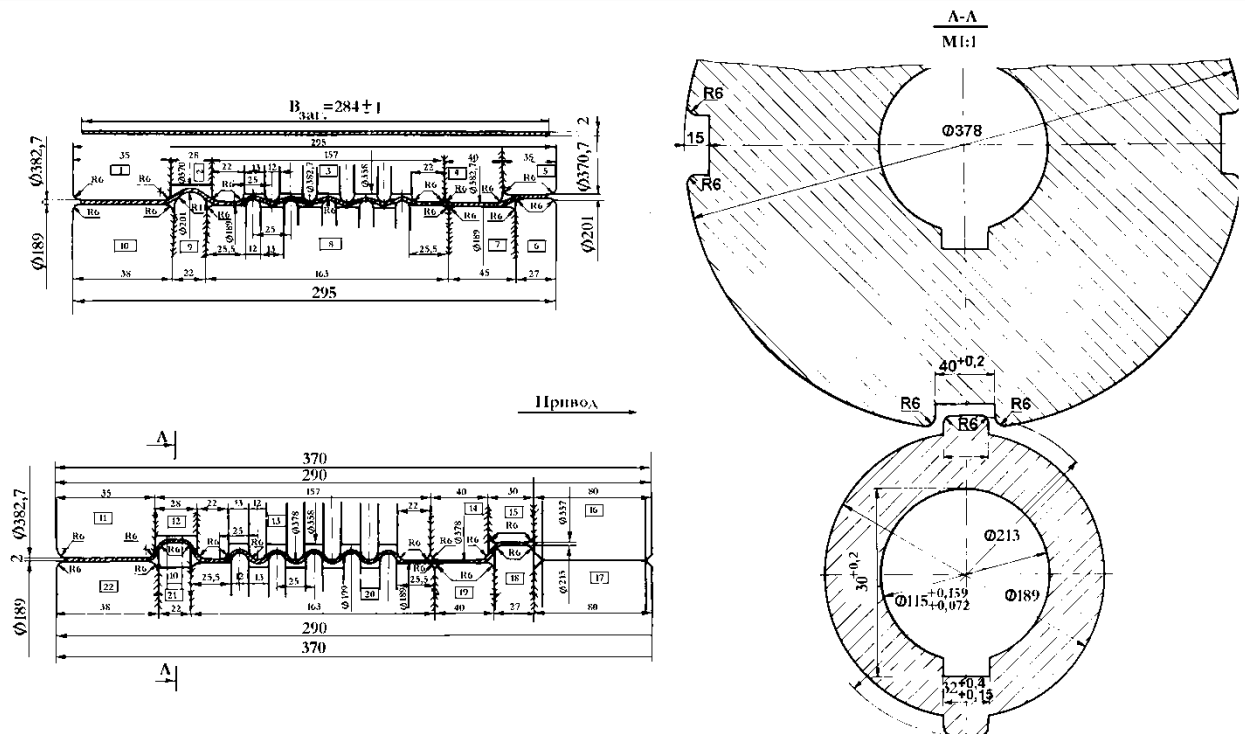


Рис.3 Калібрування валків експериментального профілю сердечника теплообмінника

При реалізації подальшої технології виробництва сердечника – навивці смуг в спіраль на спеціальній установці спостерігалися наступні дефекти:

1. Внаслідок близького розташування гофра від кромки смуги (50 мм) спостерігалася хвилястість бічних кромки. Висота хвилі досягала величини 5 мм. Для усунення цього дефекту необхідно збільшити відстань гофрів до кромки смуги, дзеркально помінявши місцями на профілі ділянки рифлень з ділянками, на яких нанесені гофри, що періодично повторюються.

2. Формування рифлень у валках, що мають різні зовнішні діаметри, супроводжується вигином заготовки у бік валків, що мають менший діаметр. Для усунення цього дефекту при промисловому виробництві подібних профілів формування рифлень необхідно робити у валках рівного діаметру.

3. При навивці спостерігався вигин смуги в районі розташування гофрів. Вигин був викликаний частково близьким розташуванням гофра до кромки профілю, а в основному великою відстанню між гофрами в подовжньому напрямі. Для усунення цього дефекту гофр був віддалений від кромки профілю і зроблено коригування калібрування валків. Коригуванням передбачалося в два рази зменшити період розташування гофрів.

Після усунення цих недоліків і коригування калібрування валків було зроблено повторне профілювання смуги. В результаті був отриманий профіль, що відповідає вимогам креслення. З урахуванням результатів випробування по скоректованому калібруванню валків, на профілезгинальному стані 1-4x50-300 були виготовлені профілі із сталі 12X18N10T для виготовлення сердечника теплообмінника (завдовжки по 10 м) і зроблена навивка їх на спеціалізованій установці. Навивка смуг показала позитивні результати, що дозволяє рекомендувати розроблений технологічний процес до промислового впровадження.

Для отримання додаткових відомостей про новий технологічний процес, службові властивості виготовлених по ньому профілів, які потрібні для правильного вибору і проектування технологічного устаткування, визначення можливості поєднання процесу формоутворення гофрів з процесом навивки готових профілів, були проведені додаткові експериментальні дослідження.

Метою досліджень було визначення енергосилових параметрів формоутворення моделі профілю теплообмінника 990x4x350x12x2 мм, а також деформованого стану металу отриманих профілів.

Відповідно до розробленої технології формування рифлень і гофрів робилося в двох клітках стану, а навивка профілів - в третій клітці. Вимір тисків металу на валки виконувався за допомогою месдоз мембранного типу, встановлюваних під натискні гвинти клітей стану. Ці месدوزи мало чутливі до перекосу подушок валків і установки не по центру натискного гвинта клітці. Тарировка месдоз проводилася заздалегідь на еталонному пресі.

При скручуванні шпинделя найбільші поверхневі деформації спрямовані під кутом 45° до його осі. Для їх реєстрації на шпиндель наклеювалися по два сполучених послідовно датчика, таких, що утворюють одно з плечей вимірювального напівмосту. Знімання сигналів з шпинделя, що обертається, робилося за допомогою струнного струмоміра. Шпинделі тарировались за допомогою важеля і вантажу. Усі виміри робилися за допомогою тензометричної станції "Топаз-1" (точність вимірів $\pm 2\%$) і шлейфогого осцилографа Н- 700 (точність вимірів $\pm 3\%$).

Для визначення енергосилових параметрів процесу формування рифлень на профілях були виміряні зусилля у валках двох перших клітей і моменти, що крутять, на верхньому і нижньому шпинделях валків, а також момент на шпинделі змотування в третій клітці. Для порівняння дослідження енергосилових параметрів проводилися як на профілях з легованої сталі 12X18N10T, так і із звичайної вуглецевої сталі Ст.3.

Отримані після розшифровки осцилограм значення зусиль і моментів, що крутять, приведені в таблиці 1.

Значення енергосилових параметрів формоутворення панелей спіральних теплообмінників

Заготовка, що профілюється	№ кліті	Зусилля, Р (н)	Момент на верхньому шпинделі M_B (Нм)	Момент на нижньому шпинделі M_H (Нм)	Момент на шпинделі змотування $M_{ЗМ}$ (Нм)
Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т	1	35500	210	680	–
	2	90000	–	1200	3400
Сталь Ст.3	1	20000	210	300	–
	2	51000	–	910	–

Максимальні зусилля при формуванні рифлень і гофрів на заготівці панелей полегшених спіральних теплообмінників з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т складають для першої кліті 35,5кН, для другої кліті - 90 кН, що на 77% і 76% перевищує максимальні значення цих параметрів при формуванні профілів із сталі Ст.3. Максимальні значення моменту, що крутить, зафіксовані в другій кліті стану, що формує, - 1200 Нм для сталі 12Х18Н10Т і 910 Нм для сталі Ст.3 відповідно. Проведені дослідження показали, що за розробленою технологією профіль панелі полегшеного спірального теплообмінника з нержавіючої сталі 12Х18Н10Т може бути освоєний в промисловості на спеціалізованій формувально-завивальній лінії.

Оскільки формоутворення рифлень, що зміцнюють профіль сердечника теплообмінника за розробленою технологією здійснюється за рахунок місцевого витягу, тобто стоншування металу, з метою встановлення експлуатаційних характеристик отриманої продукції було досліджено деформований стан по товщині профілю. Деформації по товщині металу (стоншування) визначалися шляхом виміру різьбовим мікрометром товщини металу по контуру профілю і порівняння їх з товщиною в тих же точках на плоскій заготівці до профілювання. Встановлено, що максимальних величин стоншування металу досягає в місцях витягу по кутах вершин гофрів і досягає 24%. На плоских ділянках стоншування відсутнє. У зв'язку з великою величиною стоншування було вирішено на опуклих елементах гофрів, що формували, зробити скруглення більшим радіусом (12мм замість 6мм) тобто максимально наблизитися до сферичної поверхні гофрів. Повторне формування гофрів із скоректованими елементами, що формують, показало, що стоншування на вершинах гофрів зменшилося з 24% до 16%, що задовольняє умовам експлуатації. Стоншування ж на вершинах рифлень, що зміцнюють, не перевищувало 6 - 7%. Отримані результати дають основу позитивно оцінити розроблену технологію, оскільки вона дозволяє отримувати якісні профілі без тріщин і розривів.

Таким чином, позитивні результати, отримані при освоєнні експериментального профілю, а також дані досліджень енергосилових параметрів процесу і деформованого стану готових профілів дозволяють рекомендувати розроблений технологічний процес з деякими доданнями для реалізації в промислових умовах на проєктованій спеціальній лінії (рис.4). Враховуючи, що в конструкції сердечника спірального теплообмінника використовується двохвиткова спіраль, формування зміцнених заготовок для створення такого сердечника в пропонованій лінії здійснюється одночасно на двох ділянках назустріч одна одній.

В якості початкового матеріалу для формування промислових профілів сердечників спіральних теплообмінників повинна застосовуватися нержавіюча рулонна сталь 12Х18Н10Т товщиною 2 мм, що поставляється в рулонах шириною 1000 мм. Рулони із складу заготовок доставляються до накопичувача, що забезпечує необхідний їх запас для завантажувального пристрою.

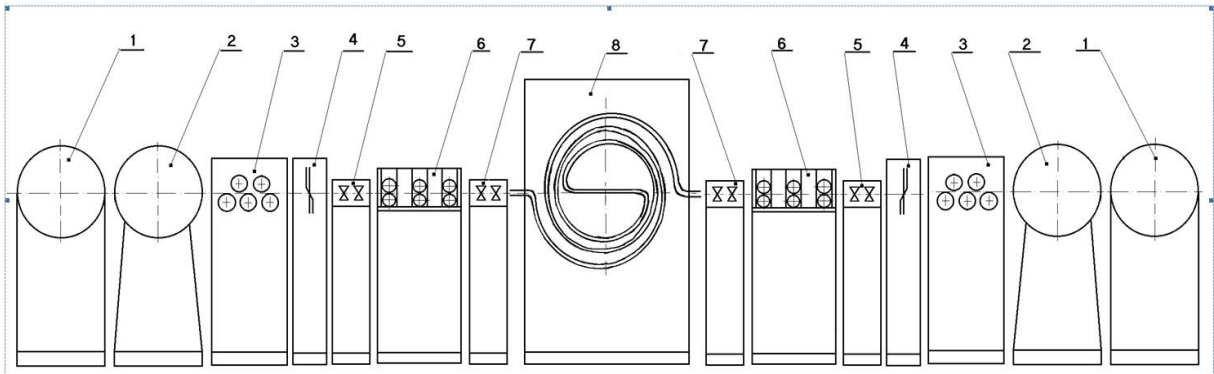


Рис.4 Спеціалізована лінія для формування і навивки профілів сердечників спірального теплообмінника

Завантажувальний пристрій (1) передає рулон від накопичувача на барабан розмотувача (2). Розмотувач призначений для прийому рулону, для обробці на лінії, розвороту його в положення зручне для відгинання переднього кінця смуги, утримування рулону, що обертається, під час розмотування смуги і створення необхідного натягнення. Далі по технологічному циклу заготовка передається в правильну машину (3), яка призначена для попередньої правки металу в холодному стані після розмотування і повинна забезпечити площинну заготовку відповідно до вимог ГОСТ 19904-90 (нормальна площинна).

Після правки смуга поступає в ножиці гільйотин (4), де обрізується деформований передній і задній кінці рулону, вирізуються дефектні ділянки, робиться різання смуги на мірні довжини перед завданням її у формувальний стан. Ножиці мають бути обладнані пристроями для видалення обрізи. Для скидання обрізків смуги в ці пристрої ножиці можуть бути дообладнані відкидними столами.

Потім смуга через задаючий пристрій, що є двома парами непривідних вертикальних роликів (5) задається в робочі кліті (6) формувального стану. Кількість робочих клітей з кожного боку від завивального пристрою обумовлена отриманням якісних профілів заданої конфігурації і для випадку формування профілю сердечника теплообмінника складає по 3 двохвалкових кліті відкритого типу з кожного боку. Регулювання положення верхніх валків по висоті здійснюється нажимним і урівноважуючим пристроями. Привід нажимних гвинтів - механічний, такий, що забезпечує одночасне і роздільне обертання гвинтів. Передатне відношення між валками дорівнює одиниці. Привід стану груповий від електродвигунів.

Враховуючи, що експериментальні дослідження енергосилових параметрів процесу проводилися на моделі профілю, що становить четверту частину перерізу промислового профілю, максимальне зусилля формування, що розвивається в кліті, що формує, повинно бути не менше 360 Кн. Основні діаметри верхніх і нижніх робочих валків в кожній кліті мають бути однаковими і вибиратися з урахуванням формування гофрів і відбортовок заввишки до 20 мм. Максимальний момент, що крутить, на валках клітей - 2,3 кНм.

Розташований далі по ходу технологічного циклу пристрій для натягнення смуги (7) призначений для рівномірного і якісного змотування смуги в змотуючому пристрої.

Центральним механізмом нової технологічної лінії є змотуючий пристрій (8). Він призначений для змотування смуг, що рухаються одна назустріч другій, в сердечник двохвиткового спірального теплообмінника. У пристрої має бути передбачене автоматичне зварювання передніх кінців відформованих смуг і затиск ділянки звареного профілю до начала завивки двохвиткової спіралі. Момент, що крутить, на шпинделі змотуючого пристрою для навивки повномірного профілю має бути не менше 14 кНм. При навивці смуг

пристрій повинен забезпечувати створення рівномірного проміжку між смугами упродовж усього процесу, легке знімання навитого сердечника теплообмінника з пристрою, надійне і швидке кріплення задніх кінців двохвиткової спіралі на оболонці.

Усі технологічні операції, що виконуються на спеціалізованій лінії, мають бути механізовані з повним виключенням ручної праці на усіх основних і допоміжних операціях.

Висновки. Таким чином, виконані дослідження дозволили: розробити новий тип полегшеного профілю для спіральних теплообмінників, принципово нову технологію його формоутворення у валках формувального стану, отримати в процесі відробітку технології експериментальні профілі, встановити, що за якісними показниками вони задовольняють умовам експлуатації сердечників спіральних теплообмінників. Отримані значення енергосилових параметрів процесу формоутворення профілів дозволяють виконати силовий розрахунок проєктованого для виготовлення сердечників теплообмінників спеціального устаткування. Визначений попередній склад спеціалізованої лінії для випуску подібної металопродукції, який може бути використаний при проєктуванні устаткування.

Література

1. Капаец, Г. Е. Теплообменники и теплообменные системы.[Текст] / Г.Е.Капаец. –К: Наук. думка, 1981.– 272с.
2. Тришевский О.И., Томенко Ю.С., Полстянкин Е.Г., Крюк А.Г. Упрочнение гнутых профилей и повышение жёсткости путём рифления их плоских элементов. // Кузнечно-штамповочное производство. 1988. №12. С.19-21.
3. Тришевский О.И., Полстянкин Е.Г., Дебердеев Р.Ю., Янчинский А.П., Томенко Ю.С. Снижение металлоёмкости гнутых профилей за счёт деформационного упрочнения. // Металлург. 1988. №8. С.36-37.

Trishevsky O.I. Increase of efficiency of spiral heat-exchangers by perfection of construction and technology of making their

A construction is worked out and new technology of making of the facilitated profiles is tested for the mandrels of spiral heat exchangers, an experimental profile is got. The results of researches of efforts and twisting moments are considered at roll forming of the facilitated panels of spiral heat exchangers, composition of equipment of the specialized line is offered for their production

Keywords: spiral heat exchanger, mandrel of heat exchanger, roll forming, gouffers, calibration of rollers, energy power parameters, specialized setting, composition of equipment.

References

1. Kapavets G.E. Teploobmenniki I teploobmennie sistemi. [Text] / G.E. Kapavets. – K: Nauk. Dumka, 1981.–272 str.
2. Trishevsky O.I., Tomenko Ju.S., Polstiankin E.G., Kriuk A.G. Uprochnenie gnutih profiley i povishenie jestkosti putem rifleniya ih ploskih elementov.// Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo.1988. №12. S.19-21.
3. Trishevsky O.I., Polstiankin E.G., Deberdeev R.U., Yanchinsky A.P., Tomenko Ju.S. Snijenie metalloemkosti gnutih profiley za schet deformatsionnogo uprochneniya.// Metallurg.1988. №8. S.36-37.