

УДК 621.87

Б. Гевко, докт. техн. наук; С. Пономаренко; А. Палюх

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛОАГРЕГАТІВ

Резюме. Розроблено поетапну технологію виготовлення вузлів теплоагрегатів на основі гвинтових елементів. Наведено технологічні схеми формоутворення гвинтових профілів і виведено аналітичні залежності для визначення зусилля формоутворення. Розроблено спеціальні інструментальні, технологічні та вимірювальні пристрої для забезпечення розробленого технологічного процесу.

Ключові слова: гвинтова канавка, технологічний процес, гвинтовий елемент, різцева головка.

B. Gevko, S. Ponomarenko, A. Palyuh

FEATURES TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR MANUFACTURING SCREW ELEMENTS HEAT UNITS

The summary. A phased technology for units of heat units on the basis of screw elements. An engineering scheme of forming helical structures and to derive analytical efforts to determine the dependence forming. A special tool, measuring equipment software for developed technology process.

Key words: spiral grooves, process, screw element, cutter head.

Умовні позначення:

ρ – радіус деформації, мм;
 σ_p – радіальні напруження, МПа;
 σ_θ – тангенціальні напруження, МПа;
 β – коефіцієнт, що враховує вплив середнього головного напруження;
 σ_s – напруження текучості матеріалу, МПа;
 σ_k – контактні напруження на внутрішньому радіусі;
 r – радіус оправки, мм;
 r_1 – радіус соленоїда на внутрішній стінці, мм;
 r_2 – радіус на зовнішній стінці, мм;
 r_3 – зовнішній радіус соленоїда, мм;
 M_σ – момент від тангенціальних напружень, Н·мм;
 M_N – момент від поздовжньої сили N ;
 B – ширина труби, мм;
 S – товщина стінки труби, мм;
 K_m – коефіцієнт, що враховує конструктивні виконання оправки;
 l – відстань від центра оправки до центра формувального ролика, мм;
 μ_p – наведений коефіцієнт тертя між роликом і трубою.

Постановка проблеми. Теплові машини і агрегати широко використовують в усіх галузях народного господарства. Робочими органами таких машин є гвинтові профільні елементи у вигляді гвинтових спіралей різного поперечного січення і трубок. Хоча вузли на основі гвинтових профільних елементів є нескладними, технологія їхнього виготовлення доволі трудомістка.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням питання проектування і виготовлення гвинтових елементів присвячені праці Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського, М.І. Пилипця, І.Б. Гевка, О.Л. Ляшука та багатьох інших. Однак у цих працях обґрунтовано лише технології виготовлення гвинтових елементів, а проектування технологічних процесів і технологічного забезпечення для виготовлення вузлів на їхній основі залишилося поза увагою.

Мета роботи. Розробити технології виготовлення робочих органів теплоагрегатів на універсальному технологічному обладнанні й відповідному технологічному оснащенні.

Роботу виконано згідно із координаційним планом Комітету з питань науки і техніки та Міністерства освіти і науки України з розділу “Машинобудування” та “Високоєфективні технологічні процеси в машинобудуванні” на 2010 – 2015 роки.

Результати досліджень. Проектуючи технологічний процес і технологічне оснащення для виготовлення робочих органів теплоагрегатів слід враховувати тип виробництва і, звичайно, технологічне обладнання для їхнього виготовлення. Якщо виготовляти вузли теплоагрегатів на основі гвинтових профільних елементів на універсальному обладнанні, то необхідно проектувати спеціальне технологічне оснащення та ріжучий і контрольний інструмент.

Розглянемо технологічний процес виготовлення теплового агрегату на основі гвинтового елемента, який складається із таких етапів:

- нарізування зовнішніх гвинтових профільних канавок на заданий розмір;
- нарізування зовнішніх гвинтових профільних канавок на трубних заготовках;
- формування гвинтового профільного елемента та закріплення їх у канавці;
- технологічний процес закріплення гвинтових профільних елементів у гвинтових канавках трубних заготовок;
- контроль якості виготовленого вузла.

Розглянемо етапи технологічного процесу з їхньою детальною характеристикою.

1. Встановлення пристрою для нарізування зовнішніх гвинтових профільних канавок двох типорозмірів: прямокутного і напівкруглого поперечного січення на задані розміри.

Даний етап здійснюємо за допомогою спеціального калібру (рис. 1), призначеного для виставлення різців головки для нарізування зовнішніх профільних гвинтових канавок (рис. 2) на заданий розмір.

Калібр для правильного встановлення різців у головці виготовлено у вигляді оправки, яка лівим циліндричним кінцем 7 жорстко закріплена в патрон 8. На чотирьох боках оправки 6 виконано пази 11 типу «ластівчин хвіст», у які встановлено рухомі калібри 3 з можливістю осьового переміщення. Величина переміщення контролюється за допомогою лінійної шкали 5 пристрою.

Калібр здійснює осьове переміщення у пазах 11 за допомогою болта, регульовального 1, який взаємодіє із шайбою 2, що жорстко закріплена до оправки 6 за допомогою штифта 10 і болта 9. До калібру 3 жорстко закріплено калібровані вставки 15 штифтами 14 та стопорними гвинтами 13. Кожна калібрована вставка має різну величину h для певної глибини профільної канавки. До лівого кінця оправки жорстко закріплено встановлюючий штифт 12, за допомогою якого здійснюється позиціонування калібру в головці для нарізування зовнішніх гвинтових профільних канавок. У місця встановлення різців 16 на каліброваних вставках 15 підводяться різці 4 до упору.

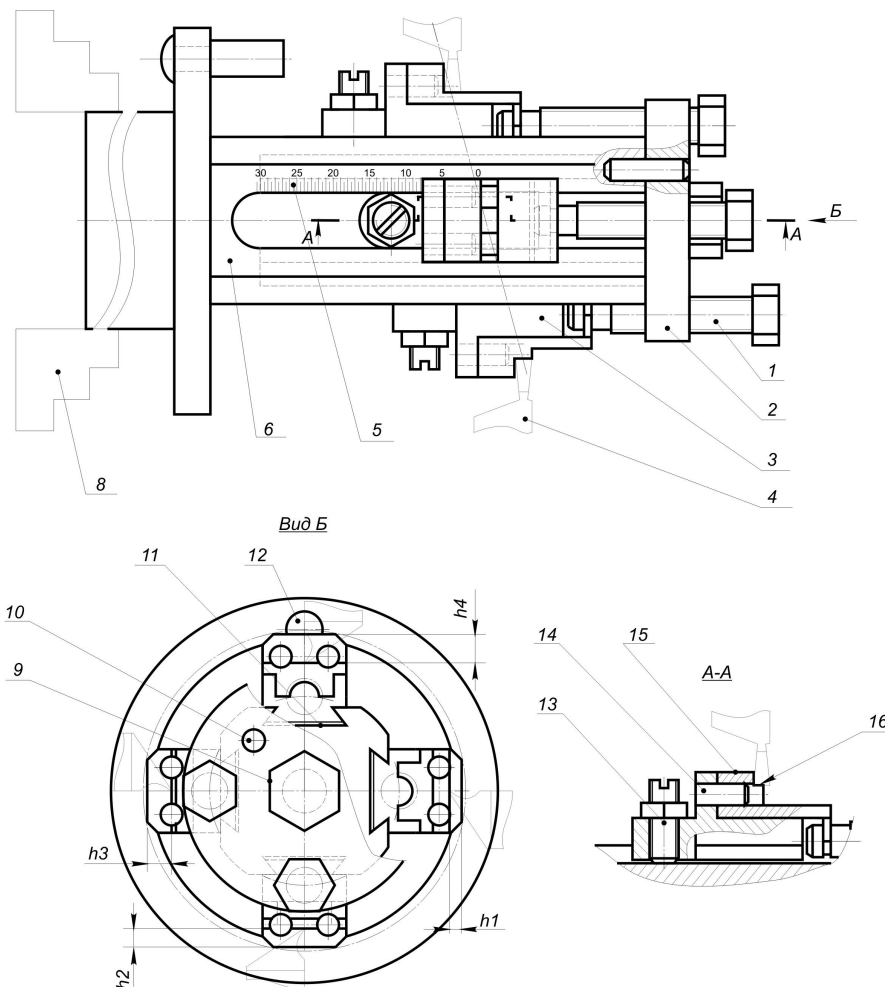


Рисунок 1 – Калібр для встановлення різців різцевої головки для нарізання зовнішніх гвинтових канавок на заданий розмір

2. Нарізування зовнішніх гвинтових канавок для кріплення профільних елементів.

Гвинтові канавки нарізують на універсальному токарно-гвинторізному верстаті 16К20 за допомогою спеціального інструментального забезпечення (рис. 2) різцями твердосплавними Т15К6.

Пристрій для нарізування зовнішніх гвинтових профільних канавок виконано у вигляді корпусу 3, в якому зроблено центральний наскрізний отвір діаметром більшим зовнішнього діаметра заготовки 1, з можливістю відносного переміщення. Корпус жорстко закріплений за допомогою оправки в поздовжньому супорті верстата (на кресленні не показано) з можливістю осьового переміщення. До того ж корпус оснащений різальними інструментами 10, які жорстко закріплені в різцевих блоках 7, що розміщені рівномірно по колу у вертикальній і горизонтальній взаємоперпендикулярних площинах і встановлені, наприклад, по чотири на гвинтовій лінії гвинтової канавки заготовки, по два в кожній площині з можливістю їхнього радіального переміщення. Профіль різальних інструментів дорівнює профілю канавок. Крім того, до різальних інструментів приєднано мікрометричні регульовальні пристрої 9 вильоту різців.

Регулювання різальних інструментів на крок здійснюється переміщенням різцевих блоків 4, які жорстко встановлені в корпусі з відрегульованим на певний виліт різальних інструментів по передачі гвинт-гайка. Замість гайки використовуємо різцеві блоки, які є в зачепленні з гвинтом, що жорстко закріплений у корпусі з можливістю осьового обертання через підшипник.

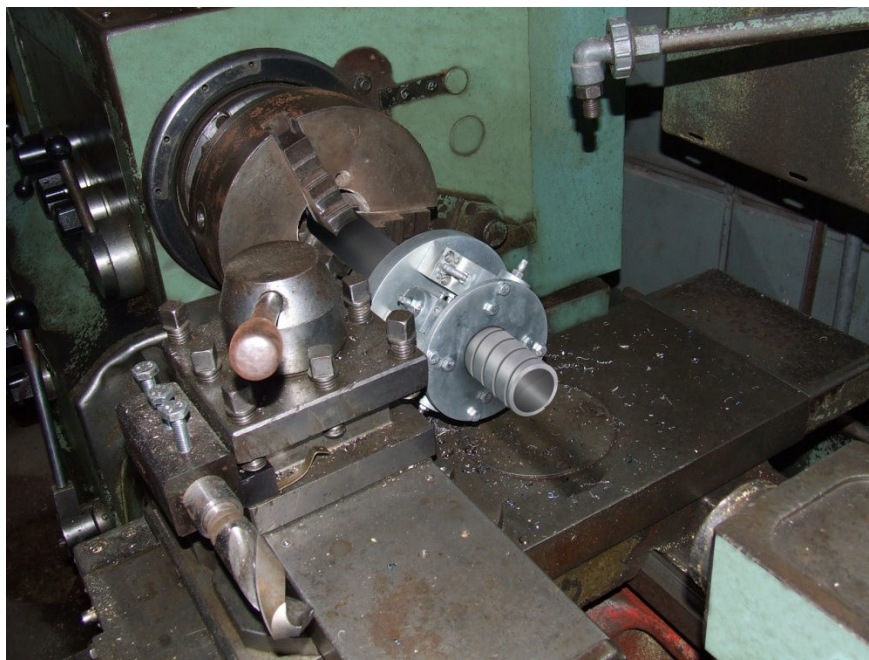
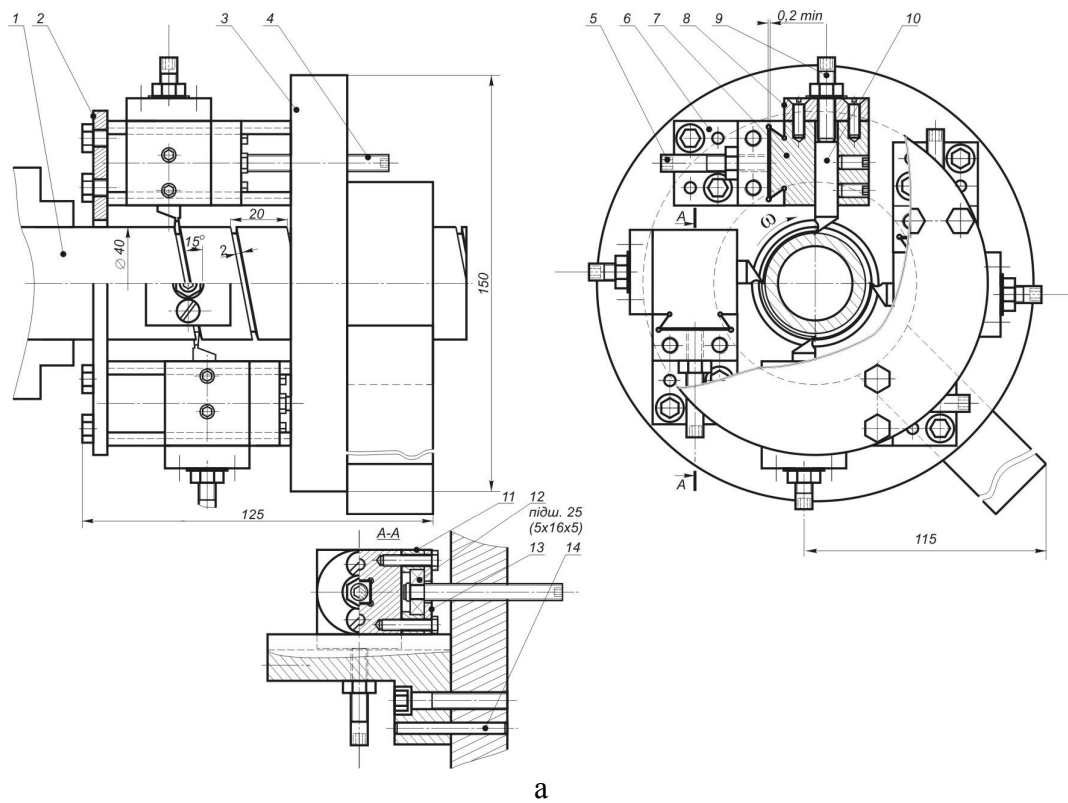


Рисунок 2 – Пристрій для нарізування зовнішніх гвинтових профільних канавок:
а) конструктивне виконання; б) встановлення на верстаті

Пристрій для нарізування зовнішніх гвинтових профільних канавок працює так. Виставляють різальні інструменти в різцевих блоках на необхідну величину вильоту за допомогою мікрометричних регулювальних пристроїв на стендах (на кресленні не зображено). Потім встановлюють різцеві блоки з виставленими різальними інструментами в корпус пристрою і вводять у зачеплення з гвинтом, при цьому пристрій встановлюють на супорті верстата і закріплюють. Різальні інструменти регулюють на крок за допомогою передачі гвинт-гайка за шаблоном. Після налагодження пристрою на супорті верстата здійснюють процес канавкоутворення.

3. Формування профільних гвинтових елементів.

Формуємо профільні гвинтові елементи на спеціальному технологічному оснащенні (рис. 3), яке дозволяє виготовляти різнопрофільні заготовки із сортового прокату заданих типорозмірів.

Формують гвинтові профільні елементи на нарізані канавки оправки теплоагрегату необхідних типорозмірів.

Основна проблема при формуванні гвинтових профільних елементів – утворення гофр та спотворення гвинтового профілю під час його формування. Завдяки розробленому технологічному забезпеченню цих недоліків вдалося уникнути.

Пристрій для неперервного навивання різнопрофільних гвинтових заготовок на оправку виконано у вигляді П-подібного кронштейна 1, низ якого жорстко з'єднано з різцетримачем 2 токарного верстата, кронштейном 3 і болтом 4 та встановлено під кутом до осі циліндричної оправки 5 рівним куту підйому гвинтової лінії з можливістю осьового переміщення. Крім цього, праву вітку U-подібного кронштейна 1 в свою чергу виконано у вигляді двох вертикальних паралельних стійок лівої 6 і правої 7, у які знизу і зверху паралельно між собою встановлено вали – відповідно верхній 8 і нижній 9 у підшипники 10 з можливістю колового провертання. На верхній вал 8 жорстко встановлено направляючий шків 11 із затискним диском 12, регулювання величини зазору між їхніми торцевими поверхнями здійснюється за допомогою регулювальної гайки 13, яка нагвинчена на лівій ступені верхнього вала 8. На нижньому валу 9 U-подібного кронштейна 1 справа знизу жорстко встановлено направляючий ролик 14, який встановлено на відстані одного кроку гвинтової заготовки 15 від притискного диска 1 2 з можливістю колового провертання, а знизу и-подібного кронштейна 1 на осі 16 встановлено подаючий ролик 17 з можливістю колового провертання з кутом нахилу прямокутної трапеції поперечного перерізу навитого витка заготовки 15, який взаємодіє із стрічковою заготовкою 18 при її подаванні в зону формоутворення і утворює аналогічний калібр 19 з нерухомим циліндричним упором 20, який жорстко встановлений у нижній частині и-подібного кронштейна 1 перпендикулярно до напрямку руху стрічкової заготовки 18. Вісь 16 подаючого ролика 17 встановлена в осьовому пазі 21 з можливістю осьового переміщення і регулювання величини калібру 19, а з боку протилежного осьовому пазу 21, встановлено підтискну пружину 22, яка стискується болтом 23. Величина калібру 19 регулюється гвинтом 24 і стопориться гайкою 25.

Для нагрівання стрічкової заготовки 18 використовуємо індуктор 26, який встановлено на різцетримачі 2 токарного верстата і з'єднаний з відповідними відомими механізмами.

Оправка 5 жорстко кріпиться у кулачках токарного патрона 27 верстата, а на її зовнішній поверхні нарізана гвинтова канавка 28 кроком, що дорівнює кроку гвинтової заготовки 15, і шириною, більшою товщини стрічкової заготовки 15 з можливістю вільного її входження у неї. Для кріплення кінця стрічкової заготовки 18 на оправці 5 виконано осьовий паз 29, перпендикулярно до площини гвинтової канавки 28 з можливістю вільного заходу. Пристрій жорстко кріпиться до різцетримача 2 під кутом до оправки 5, рівним куту підйому гвинтової лінії 15. Закріплюємо кінець заготовки так. Кінець стрічкової заготовки 18 згинаємо під кутом 90° і встановлюємо у гвинтову канавку 28 і осьовий паз 29 оправки 5 і в зазор між шківом 11 та затискним диском 12.

Запускаємо пристрій для неперервного навивання різнопрофільних гвинтових заготовок на оправку так. Після проведення підготовчих робіт умикаємо верстат, стрічкова заготовка 18 подається у зону формоутворення, де навивається 0,5...0,75 витка. Після цього здійснюється формоутворення кроку спіралі, яку встановлюємо в направляючий ролик 14. Оправка 5 провертається, і в її гвинтову канавку 28 навивається гвинтова заготовка 15. У разі потреби, для підвищення пластичності стрічкової заготовки 18, умикають індуктор 26, який її нагріває, що сприяє поліпшенню формоутворення гвинтової спіралі і її встановленню у гвинтову канавку 28 оправки 5. Після закінчення технологічного процесу пристрій для неперервного навивання

різнопрофільних гвинтових заготовок на оправку відводиться у верхнє положення, а оправка 5 з гвинтовою заготовкою 15 знімаємо з верстата, на її місце встановлюємо нову (привід на кресленні не зображено).

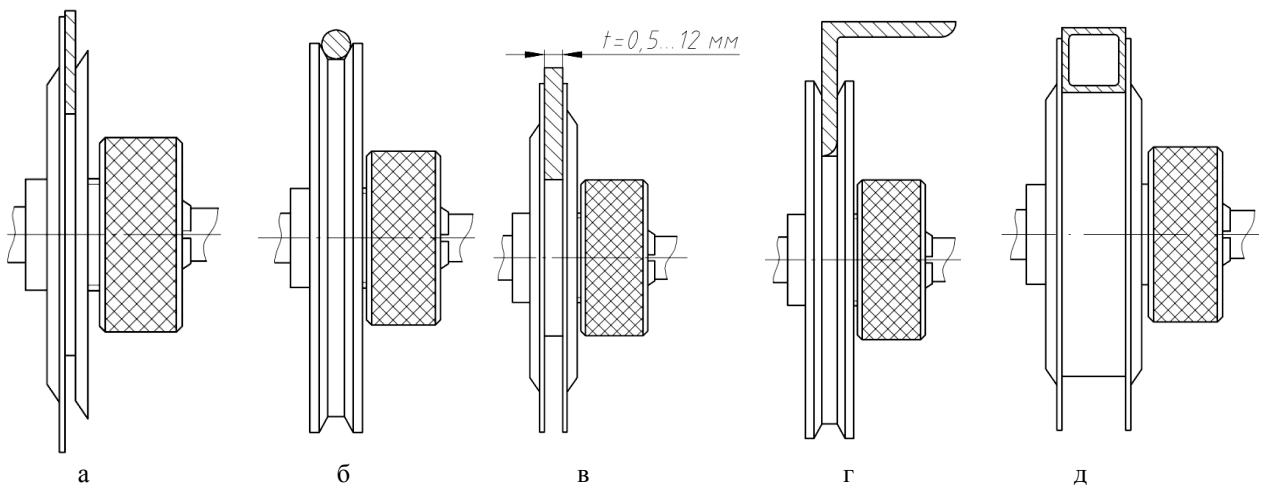
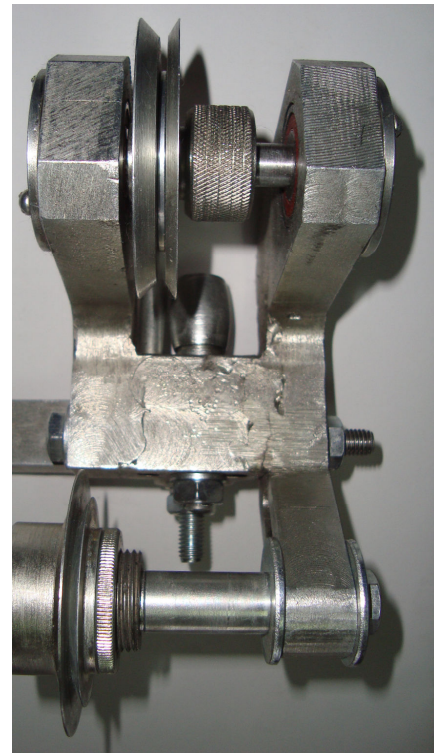
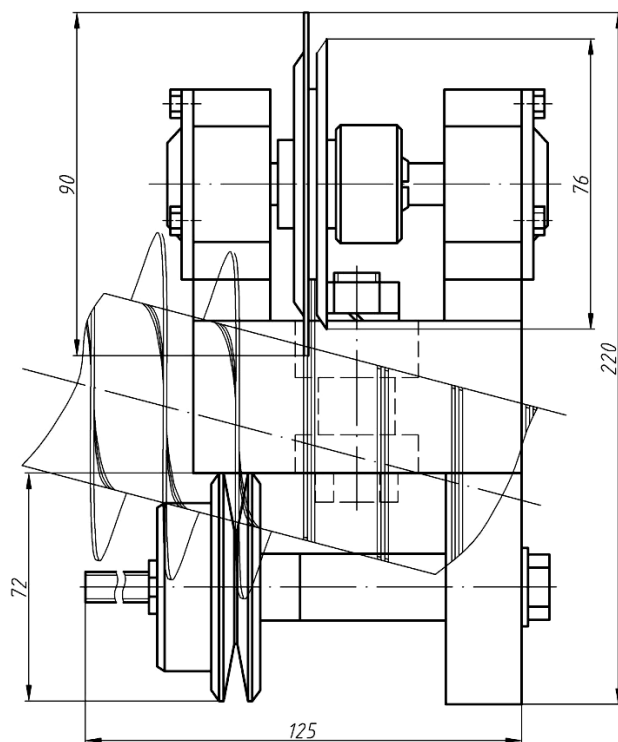


Рисунок 3 – Пристрій для формування гвинтових профільних елементів теплоагрегатів зі змінними формувальними головками для навивання:

а) смуг; б) круглих профілів; в) широких смуг; г) Г-подібних профілів; д) квадратних профілів

Розрахункову схему процесу формоутворення наведеним пристроєм зображено на рис.4.

У процесі навивання труб на оправку на внутрішній частині труби можуть утворитися гофри, що є показником втрати стійкості при навиванні, тому для запобігання цьому явищу використовують гальмівний ролик 4, унаслідок цього виникає поздовжня розтягуюча сила N . Для зменшення зусилля P формоутворення соленоїда з труб прямокутного поперечного січення використовують індукційне нагрівання, яке також позитивно впливає на зменшення відпружинення соленоїда після формоутворення, оскільки при нагріванні знімаються внутрішні напруження, що виникають під час процесу формоутворення.

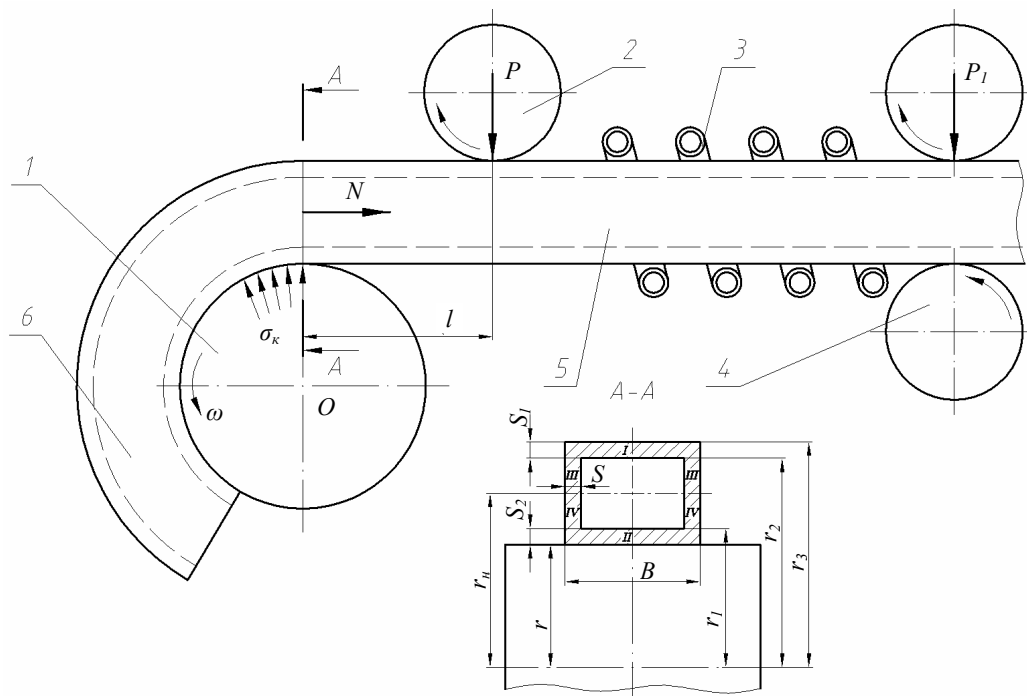


Рисунок 4 – Розрахункова схема процесу формоутворення соленоїдів з труб прямокутного поперечного сечення:

1 – оправа; 2 – формувальний ролик; 3 – індуктор; 4 – гальмівний ролик;
5 – труба; 6 – соленоїд

У процесі навивання соленоїда поперечне сечення прямокутної труби умовно можна поділити на чотири зони, як це зображено на рис. 4.

Опишемо напружений стан і стан деформації, а також характер деформації у кожній зоні.

У зоні I відбувається розтяг волокон матеріалу, при цьому спостерігаємо плоский стан деформації та об'ємний стан напружень із зменшенням товщини стінки.

У зоні II відбувається стиск волокон матеріалу, стан деформації плоский, стан напружено-об'ємний, при цьому збільшується товщина стінки.

У зоні III відбувається розтяг волокон матеріалу. Стан деформації об'ємний, стан напружень плоский, при цьому зменшується товщина стінки по трапеції від центрального радіуса деформації до зовнішнього радіуса.

У зоні IV відбувається стиск волокон матеріалу, стан деформації об'ємний, стан напружень плоский, при цьому збільшується товщина стінки по трапеції від нейтрального радіуса деформації до внутрішнього.

Традиційно для аналізу процесів гнуття використовують полярну систему координат із центром у точці O. Оскільки процес деформації проходить у гарячому стані, зміцнення матеріалу не враховуємо.

Рівняння рівноваги для усіх зон деформацій буде таким [1]:

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho - \sigma_\theta = 0. \quad (1)$$

Рівняння пластичності для зон I, II, III згідно з [1] запишемо, як

$$\sigma_\theta - \sigma_\rho = \pm \beta \sigma_s. \quad (2)$$

Знак “-” належить до зон I, III, знак “+” до зони II. Для зон I, II $\beta=1,15$; для зони III $\beta=1$.

Рівняння пластичності для зони IV буде таким:

$$\sigma_\theta = -\sigma_s. \quad (3)$$

При сумісному розв'язку рівняння рівноваги (1) і рівняння пластичності (2)

знаходимо радіальні напруження.

У зоні I для граничних умов: $\sigma_\rho = 0$, при $\rho=r_3$.

$$\sigma_{\rho 1} = -\beta\sigma_s \ln\left(\frac{r_3}{\rho}\right). \quad (4)$$

У зоні II для граничних умов: $\sigma_\rho = -\sigma_\kappa$, при $\rho=r$.

$$\sigma_{\rho 2} = -\left(\sigma_s \ln\left(\frac{\rho}{r}\right) + \sigma_\kappa\right). \quad (5)$$

У зоні III для граничних умов: $\sigma_\rho = -\beta\sigma_s \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)$, при $\rho=r_2$.

$$\sigma_{\rho 3} = -\beta\sigma_s \ln\left(\frac{r_3}{\rho}\right). \quad (6)$$

Для зони IV проводимо сумісний розв'язок рівнянь (1) та (3).

$$\rho \frac{d\sigma_\rho}{d\rho} + \sigma_\rho + \sigma_s = 0. \quad (7)$$

Проводячи елементарні перетворення, одержимо:

$$\int \frac{d\sigma_\rho}{-\sigma_\rho - \sigma_s} = \int \frac{d\rho}{\rho} + c. \quad (8)$$

Сталу інтегрування c знаходимо з граничних умов: при $\rho = r_1$;

$$\sigma_\rho = -\sigma_s \ln\left(\frac{r_1}{r}\right) - \sigma_\kappa, \text{ тоді}$$

$$c = -\ln\left(\sigma_s \ln\left(\frac{r_1}{r}\right) + \sigma_\kappa - \sigma_s\right) - \ln(r_1). \quad (10)$$

Підставляючи значення рівняння (10) в рівняння (9), після перетворень і скорочень отримаємо формулу для визначення контактних напружень у IV зоні:

$$\sigma_{\rho 4} = \frac{-\sigma_s \left(\rho + r_1 \left(\ln\left(\frac{r_1}{r}\right) - 1 \right) + \sigma_\kappa r_1 \right)}{\rho}. \quad (11)$$

Для того, щоб знайти нейтральний радіус соленоїда r_n , сумісно розв'язуємо систему рівнянь (6) і (11).

Оскільки аналітичний розв'язок даної системи неможливий, нейтральний радіус напружень визначаємо числовим методом, використовуючи ЕОМ. Приклад розв'язку зображено на рис.2 для таких числових значень:

$$\sigma_s=300\text{МПа}; \sigma_\kappa=20\text{МПа}; r=50\text{мм}; r_1=55\text{мм}; r_2=95\text{мм}; r_3=100\text{мм}; r_n=70,64\text{мм}.$$

Знаходимо тангенціальні напруження

– для зони 1,3:

$$\sigma_{\theta 1} = \beta\sigma_s \left(1 - \ln\left(\frac{r_3}{\rho}\right) \right); \quad (12)$$

– для зони 2:

$$\sigma_{\theta 2} = -\sigma_s \left(1 - \ln\left(\frac{\rho}{r}\right) + 1 \right) - \sigma_\kappa; \quad (13)$$

– для зони 4:

$$\sigma_{\theta 4} = -\sigma_s. \quad (14)$$

Визначаємо момент згину соленоїда:

$$M = M_{\sigma} + M_{H}. \quad (15)$$

Момент від тангенціальних напружень визначаємо за формулою

$$M_{\sigma} = \int_r^{r_1} \sigma_{\theta 2} \rho d\rho + \int_{r_1}^{r_H} \sigma_{\theta 4} \rho d\rho + \int_{r_H}^{r_2} \sigma_{\theta 3} \rho d\rho + \int_{r_2}^{r_3} \sigma_{\theta 1} \rho d\rho. \quad (16)$$

Підставляючи значення виразу (12)-(14) у формулу (16), одержимо:

$$M_{\sigma} = B \int_r^{r_1} \left(-\sigma_s \left(\ln \left(\frac{\rho}{r} \right) + 1 \right) - \sigma_{\kappa} \right) \rho d\rho + S \int_{r_1}^{r_H} -\sigma_s \rho d\rho + \\ + S \int_{r_H}^{r_2} \beta \sigma_s \left(+ - \ln \left(\frac{r_2}{\rho} \right) \right) \rho d\rho + B \int_{r_2}^{r_3} \beta \sigma_s \left(1 - \ln \left(\frac{r_3}{\rho} \right) \right) \rho d\rho. \quad (17)$$

Після перетворень і скорочень рівняння (17) знаходимо:

$$M_{\sigma} = \beta \sigma_s \left[\frac{1}{2} B \left(\frac{r_3^2 - r_2^2}{2} + r_2^2 \ln \left(\frac{r_3}{r_2} \right) + r_1^2 \left(\ln \left(\frac{r}{r_1} \right) - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} \sigma_{\kappa} (r_1^2 - r^2) + \frac{1}{2} r^2 \right) + \right. \\ \left. + S \left(\frac{r_2^2 - r_H^2}{2} + r_H^2 \ln \left(\frac{r_2}{r_H} \right) + (r_1^2 - r_H^2) \right) \right]. \quad (18)$$

Величину контактних напружень знаходимо за виразом

$$\sigma_{\kappa} = \frac{N}{B \cdot r}. \quad (19)$$

Момент від поздовжньої сили

$$M_N = N \frac{r_3 + r}{2}. \quad (20)$$

Зусилля згину труби роликом знаходимо за виразом

$$P = \frac{M_{\sigma}}{K_m (l + \mu_p \cdot r_3)}. \quad (21)$$

Висновки. Розроблено технологію виготовлення типового вузла теплоагрегату, в яку входять операції нарізання гвинтових канавок з подальшим кріпленням у них гвинтових профільних елементів. Спроековано та виготовлено оригінальне технологічне забезпечення для розробленої технології. Виведено аналітичні залежності та встановлено основні закономірності при виконанні вказаних технологічних операцій.

Література

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах / Мошнин Е.Н. – М.: Машиностроение, 1987. – 275 с.
2. Теоретичні основи формування різнопрофільних гвинтових заготовок деталей машин / [Гевко Б.М., Пилипець М.І., Васильків В.В., Радик Д.Л.]. – Тернопіль: ТДТУ, 2009. – 457 с.
3. Деформация при холодной вальцовке спиралей шнеков / С.Е.Рокотян, В.Е. Гурвич // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – №10. – С. 8 – 10.
4. Пат. № 37794 Україна, МПК (2008) B21D 11/06. Пристрій для неперервного навивання соленоїдів / Палюх А.Я.; заявник і власник патенту Палюх А.Я. – № u200808473; заявл. 25.06.2009р., опубл. 10.12.2008, Бюл. №23.
5. Пат. № 40197 Україна, МПК (2009) B23G 5/00. Пристрій для нарізання зовнішніх гвинтових профільних канавок / Івасечко Р.Р., Пономаренко С.В., Палюх А.Я., Гевко І.Б.; заявник і власник патенту ТДТУ. – № u200813180; заявл. 13.11.2008р., опубл. 25.03.2009, Бюл. №6.
6. Пат. № 38736 Україна, МПК (2006) G01B 3/20. Пристрій для заміру конструктивних параметрів гвинтових гофрованих заготовок/ Дячун А.Є., Палюх А.Я., Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Клендій О.М.; заявник і власник патенту Дячун А.Є., Палюх А.Я., Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Клендій О.М. – № u200806166; заявл. 12.05.2008р., опубл. 12.01.2009, Бюл. №1.

Одержано 02.02.2010 р.