

А.Г.АНДРЕЄВ, канд.техн.наук, НТУ «ХПІ»;

М.К.РЕЗНИЧЕНКО, канд.техн.наук., Українська інженерно-педагогічна академія, Харків; *О.В.ЩЕПКИН*, НТУ «ХПІ»

ОПТИМІЗАЦІЯ НАГРІВУ ПРИ РОЗ'ЄДНАННІ ДЕТАЛЕЙ

На прикладі нагрівання вузла транспортного засобу з метою його розбирання показана можливість оптимізації витрати енергії. Оптимізація проводилася з обмеженнями з напружень й температур. Установлено залежність витрати енергії від характеристик матеріалу. Застосовується симплексний метод Нелдера-Міда.

On example of heating the vehicle gear when putting it on the axis the opportunities of charge energy optimization are shown. The optimization was conducted with restrictions on pressure and temperatures. The dependence of charge of energy from properties of material is shown. The improved simplex method by J.A. Nelder and R.Mead is applied.

Актуальність теми. У зв'язку з високою вартістю ремонту транспортних засобів у даний час виникла необхідність неруйнуючого розбирання вузлів машин, які мають з'єднання з натягом, із метою подальшого використання неушкоджених деталей. Для подібних операцій застосовний тепловий метод розбирання з використанням індукційно-нагрівальних пристроїв (ІНП) [1]. Процес розбирання вносить певні складності в порівнянні зі зборкою, зокрема у тому, що нагрів охоплюючої деталі повинен бути досить інтенсивним, щоб забезпечити появу зазору між деталями, незважаючи на теплопередачу до охоплюваної деталі. Тому доцільно визначити такий розподіл температури при відповідній швидкості підведення тепла, який, забезпечуючи технологічно задане розширення отвору охоплюючої деталі, мінімізує подавану кількість теплової енергії при обмеженні рівня напружень і температури у ній.

Ціль роботи – вибір режимів нагрівання охоплюючої деталі 1 (рис. 1) із метою розбирання конструкції, яка є елементом підвіски транспортного засобу і складається з двох пластин (1) і вала (2), поверхня якого в зоні з'єднання покрита дрібним шліцом.

Для розрахунку напружено-деформованого стану й розв'язання температурної задачі був застосований МСЕ [2]. Досліджувана конструкція розглядається як плоска, апроксимується плоскими скінченними елементами трикутного поперечного перерізу з трьома вузлами. Також використовуються однорічні стиковальні елементи, які моделюють стан сила-зсув-теплопередача на контактуючих між собою поверхнях деталей конструкції [3,4]. При цьому враховувалася симетричність конструкції у поздовжньому напрямі. Граничні умови забезпечують відсутність переміщення деталі як жорсткого цілого та її симетричність. Розв'язка нестационарної температурної задачі здійснюється із застосуванням центральної різницевої схеми [5].

Для розв'язання поставленої задачі використовувався метод прямого по-

шуку, який не потребує обчислення похідних досліджуваної функції – метод комплексів [6], що є модифікацією симплексного методу Нелдера-Міда, яка дозволяє враховувати обмеження. Використання теплового методу нагрівання деталей за допомогою ІНП вносить певні обмеження на форму температурного поля: тепло може подаватися в деталь лише в деяких обмежених зонах (рис. 2). Параметром оптимізації є потужність теплового потоку, який надходить у деталь. Потужність задається в 9-15 точках і змінюється між ними за лінійним законом.

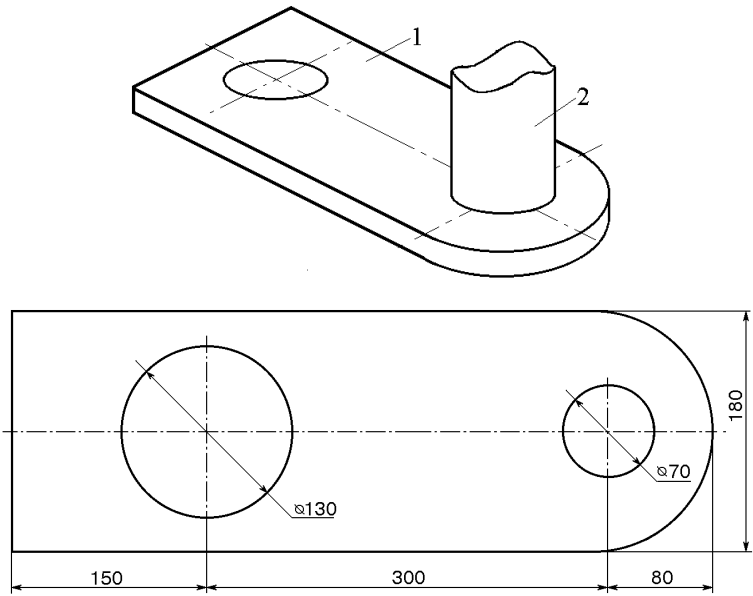


Рисунок 1 – Досліджувана конструкція

Характеристики матеріалу деталі:

- модуль пружності $E = 0,21 \cdot 10^6$ МПа;
- коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$;
- коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 11,9 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹;
- щільність $\rho = 7800$ кг/м³;
- питома теплоємність $c = 460$ Дж/кг · град.;
- коефіцієнт теплопровідності $K = 80$ Вт/м · град.;
- коефіцієнт теплопровідності повітря $K = 0,035$ Вт/м · град.

Утрати тепла конструкції шляхом конвекції та випромінювання в розрахунках не враховуються. Передача тепла від однієї деталі іншій враховується за допомогою контактних елементів. Обмеження з температури – до 350 град. Час нагрівання прийнятий 2-3 хв. Розширення отвору повинне бути 0,1 мм як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку. Як показали розрахунки, рівень напружень у деталях істотно нижче межі пластичності.

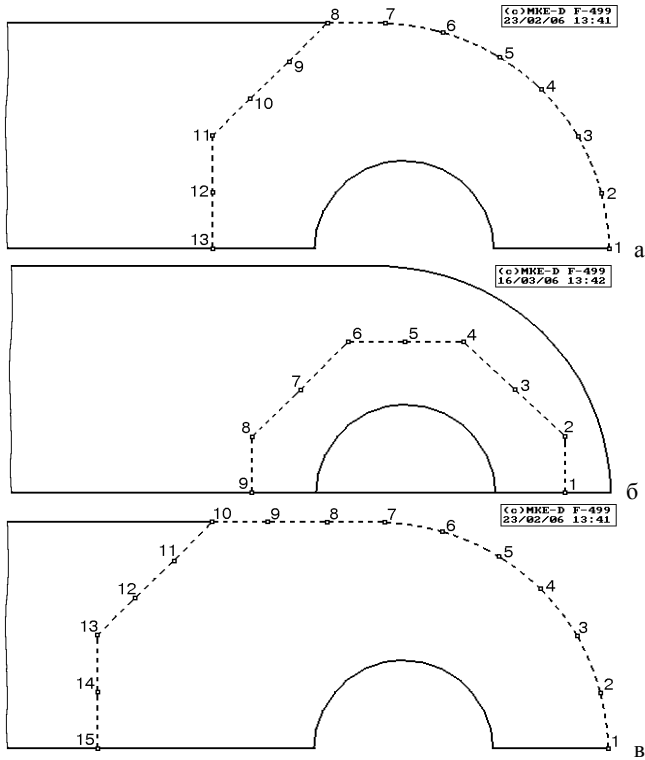


Рисунок 2 – Схема розташування точок задавання потужності нагрівання

Таблиця 1 – Дані про виконані варіанти розрахунку

№ варіанта	1	2	3	4	5	6
Варіант задавання потужності нагрівання (див. рис. 2)	а	а	а	а	б	у
Час нагрівання, хв.	3	3	2	2	2	2
Термічний опір у зоні контакту [4], $\text{м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$	0,006	0,006	0,001	0,001	0,001	0,001
Витрати енергії, W, МДж	1,698↓	1,972↓	2,170	2,751	2,92	3,41
Максимальна температура, град.	559	350↑	350↑	421↓	423↓	410↓
Максимальна потужність нагрівання, $\text{кВт}/\text{м}^2$	932	674	871	1109	1335	919
Середнє розширення отвору за радіусом, $\delta \cdot 10^6$, м	100↓	100↓	82,2↑	100↓	100↓	100↓

Примітки: ↑ ↓ – значення, що оптимізується, – збільшення / зменшення;

↑ ↓ – діє обмеження зверху / знизу

Таблиця 2 – Оптимальний розподіл потужності нагрівання

Ва- ріант	Номер точки														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	9	683	23	932	145	2	1	1	0	1	220	345	97	-	-
2	194	188	204	215	278	127	327	307	1	674	0	311	236	-	-
3	300	270	290	305	292	285	307	149	800	871	640	76	413	-	-
4	399	359	351	370	359	345	398	91	977	1109	907	0	505	-	-
5	300	566	548	601	748	589	1335	251	512	-	-	-	-	-	-
6	300	348	344	365	359	358	384	440	397	161	860	813	919	859	866

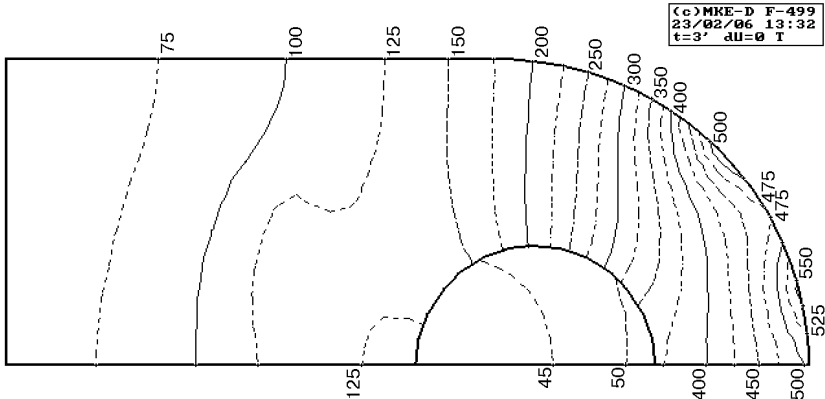


Рисунок 3 – Оптимальне температурне поле – варіант розрахунку 1

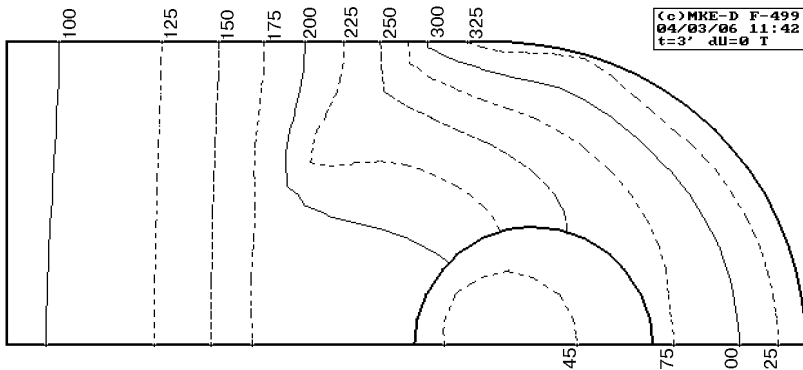


Рисунок 4 – Оптимальне температурне поле – варіант розрахунку 2

Результати розрахунку. Дані про обчислені варіанти задавання потужності нагрівання (1-6) зведені в табл. 1.

Основні характеристики розрахунків:

Варіант 1: Високий термічний опір у зоні контакту деталей; немає обме-

жень із температури; діє обмеження з розширення отвору; мінімізація витрати енергії. Час нагрівання 3 хв.

Варіант 2: Високий термічний опір у зоні контакту деталей; виконані всі обмеження; мінімізація витрат енергії. Час нагрівання 3 хв.

Варіант 3: Низький термічний опір у зоні контакту деталей; діє обмеження з температури; оптимізація розширення отвору – потрібного розширення досягти не удалось. Час нагрівання 2 хв.

Варіанти 4-6: Низький термічний опір у зоні контакту деталей; діє обмеження з розширення отвору; мінімізація температури – виконати обмеження по температурі не удалось. Час нагрівання 2 хв. Варіанти відрізняються зоною нагрівання.

На рис. 3,4 приведені оптимальні розподіли температури в деталі, отримані в розрахунках 1,2, а на рис. 5,6 схематично показані деформації деталі при цих розподілах температур. У табл. 2 приведені значення потужності нагрівання (kВт/м^2), отримані в розрахунках 1-6.

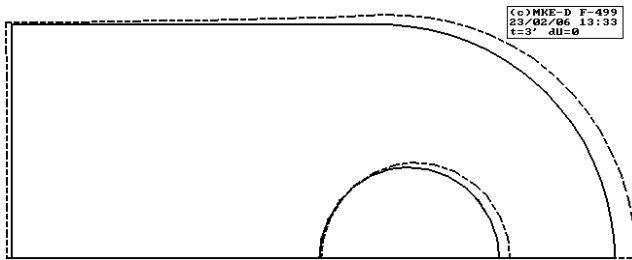


Рисунок 5 – Деформація деталі при оптимальному розподілі температур, варіант розрахунку 1

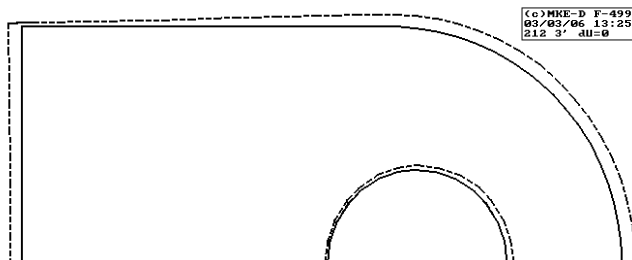


Рисунок 6 – Деформація деталі при оптимальному розподілі температур, варіант розрахунку 2

Висновки. Було проведено дослідження напруженого й теплового стану конструкції при її нагріванні індукційно-нагрівальним пристроєм для розбирання з'єднання з метою оптимізації цього технологічного процесу.

Розрахунки дали два варіанти нагрівання деталі 1:

- інтенсивне нагрівання в частині циліндричної зовнішньої поверхні деталі (див. рис. 3, варіант розрахунку № 1);

– кільцеве нагрівання навколо з'єднання з додатковим підігрівом у зоні інтенсивного тепловідводу в периферійну частину деталі 1 (див. рис. 4, варіант розрахунку № 2, йому ідентичні варіанти № 3-6).

Виконане дослідження дозволяє зробити такі висновки:

Як правило, при обмеженні максимальної температури нагрівання до 350° не вдається одержати необхідне розширення отвору. При встановленні заздалегідь рівня розширення отвору на рівні 0,1 мм (за радіусом) не здійсненне задане обмеження з максимальної температури. Усі обмеження виконані в розрахунку № 2 у припущенні високого контактного опору. Точне значення контактного опору може бути отримане експериментально.

Отримані варіанти розрахунку потужності нагрівання дають дані для створення реального індукційно-нагрівального пристрою.

Список літератури: 1. Андреев Г.Я. Тепловая сборка колесных пар. – Харків, Вид-во Харківського університету, 1965. – 227 с. 2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – Москва, Мир, 1975. – 541 с. 3. Подгорный А.Н., Гонтаровский П.П., Киркач Б.Н. и др. Задачи контактного взаимодействия элементов конструкций. – Київ: Наукова думка, 1989. – 232 с. 4. Миллер В.С. Контактный теплообмен в элементах высокотемпературных машин. – Київ: Наукова думка. – 1966. – 164 с. 5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – Москва, Мир, 1979. – 392 с. 6. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэсдел К. Оптимизация в технике: в 2-кн. Кн. 2. – Москва: Мир, 1986. – 320 с.

Надійшла до редакції 22.05.2006

УДК 658.515 (088.8)

А.Г.АНДРЕЕВ, канд.техн.наук; **А.П.ЗВОНАРЕВА**,
А.В.ЩЕПКИН; НТУ «ХПИ»

СПОСОБ РАЗБОРКИ ПРЕССОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

У статті описаний спосіб розбирання пресових з'єднань конструкцій типу вал-втулка, який складається з операцій нагрівання з'єднання та наступного швидкого його охолодження рідким азотом.

In the article the press junctions disassembly method of a type the shaft-cartridge is described. The method consists of heat of junction and quick postcooling by liquid nitrogen.

Актуальность темы. Известен способ разборки прессовых соединений деталей типа вал-втулка, включающий операции быстрого нагрева втулки до заданной температуры с последующим съемом охватывающей детали. Однако такой способ не обеспечивает разборку тонкостенной охватывающей детали с валом. По предложенному способу [1] в целях устранения указанного недостатка предварительно нагретое прессовое соединение деталей типа вал-втулка охлаждают со скоростью 80-105 град/с путем струйного опрыскивания соединения хладагентом (жидким азотом).