

УДК 621.365

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РОЗБИРАННЯ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ  
ПРИ ВИКОРИСТАННІ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ**

**©Коваленко І. В.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

**Інформація про автора:**

**Коваленко Ігор Віталійович:** ORCID: 0000-0002-8199-1146; igor\_kov\_1111@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Розглянуто питання забезпечення економічного та бездефектного процесу розбирання з'єднань з використанням індукційного нагріву.

Проведено аналіз більше 15 літературних джерел.

При розробці та дослідженні питань збереженості деталей з'єднання сформульовано чотири умови теплового роз'єднання елементів.

Умови роз'єднання елементів взаємопов'язані і в їх основі лежить принцип спрямованого і дозованого теплового впливу протягом певного часу.

**Ключові слова:** розбирання; нагрів; температура; енергія; індукційний.

**Коваленко І. В.** «Обеспечение качества разборки соединений с натягом при использовании индукционного нагрева».

Рассмотрены вопросы обеспечения экономичного и бездефектного процесса разборки соединений с использованием индукционного нагрева.

Проведен анализ более 15 литературных источников.

При разработке и исследовании вопросов сохранности деталей соединения сформулированы четыре условия теплового разъединения элементов.

Условия разъединения элементов взаимосвязаны и в их основе лежит принцип направленного и дозированного теплового воздействия в течение определенного времени.

**Ключевые слова:** разборка; нагрев; температура; энергия; индукционный.

**Kovalenko I.** “Quality assurance disassembly is connected to the tension with the use of induction heating”.

The question of providing economic and defect-free process of dismantling joints using induction heating.

The analysis of more than 15 references.

In the development and preservation of research on the connection parts are formulated four conditions of thermal decoupling elements.

Conditions disconnection elements are interrelated and they are based on the principle of directed and measured heat exposure over time.

**Keywords:** disassembly; heating; temperature; energy; induction.

### **1. Постановка проблеми**

З'єднання з натягом типу вал-втулка або втулка-корпус відносяться до виробів, елементи яких роз'єднують з використанням теплового впливу на елемент, що охоплює. Натяг в цих з'єднаннях може бути конструкторським або утворюватися в процесі експлуатації виробу. Після утворення технологічного зазору між поверхнями контакту, тобто по посадковим поверхням деталей, відбувається роз'єднання виробу. Щоб роз'єднати елементи з'єднання, зібраного за певною посадкою, необхідні як термічний, так і механічний вплив. Термічний вплив – нагрів елемента, що охоплює, використовується як підготовча операція перед основною операцією – роз'єднання елементів виробу. Механічні дії використовуються в транспортних операціях, а саме захоплення виробу і його установки на позицію розформування, видалення елементів виробу з нагрівального пристрою. Природним чином це виконується, коли в якості механічного впливу використовують сили гравітації.

### **2. Аналіз останніх досліджень**

Показником якості процесу розбирання виробів є повнота роз'єднання і збереження властивостей деталей, які входять у виріб, а саме: повне відділення деталі, що охоплюється, відсутність деформацій і ризик на посадочних поверхнях деталей з'єднання, збереження фізико-механічних властивостей матеріалу. Отже, в процесах розбирання необхідний поточний контроль температури деталі, що охоплює, контроль тривалості теплового впливу і післяопераційний контроль якості отриманих елементів. Ефективність операції розбирання з термовпливом залежить не тільки від знання законів теплообміну, але і правильності їх використання з урахуванням взаємозв'язку в конструкції виробу, що дозволяє визначити економічний режим.

### **3. Основна частина**

В процесі теплового впливу на деталь, що охоплює, з'єднання з натягом теплова енергія, що передається цій деталі при нагріванні, безперервно втрачається в навколишньому середовищі за рахунок конвекції, випромінювання від поверхні і передається деталі, що охоплюється, за рахунок теплопередачі. Для здійснення процесу роз'єднання елементів виробу розподіл енергії має забезпечити між ними технологічний зазор, що досягається градієнтним нагрівом. Баланс теплової енергії для роз'єднання елементів (компонентів) можна представити рівнянням

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4, \quad (1)$$

де  $Q$  – теплова енергія, що витрачається на роз'єднання елементів виробу;  $Q_1$  – теплова енергія, накопичена деталлю, що охоплює до моменту початку утворення технологічного теплового зазору;  $Q_2$  – теплова енергія, необхідна для утворення технологічного теплового зазору;  $Q_3$  – енергія, передана деталі, що охоплюється, і не використана на утворення технологічного теплового зазору;  $Q_4$  – енергія, що втрачається деталлю, що охоплює, в навколишньому середовищі.

$Q_1$  являє собою енергію, що витрачається на теплове розширення деталі, що охоплює, (втулки) для компенсації натягу  $Q_1'$  і енергію  $Q_1''$  компенсації збільшеного розміру посадкової поверхні деталі, що охоплюється, (вала) від передачі їй енергії  $Q_3$ .  $Q_1' < Q_3$ , оскільки тепло в процесі нагрівання поширюється уздовж вала. Це означає, що вал

## Технологія машинобудування

---

розширюється менше, ніж, якби вся  $Q_3$  залишилася під посадковою поверхнею деталі, що охоплюється. Величина  $Q_2$  залежить від точності виготовленого з'єднання та рівномірності розширення посадкової поверхні деталі, що охоплює. Чим менше шорсткість посадкових поверхонь і похибка їх форми, тим менше технологічний тепловий зазор. Рівномірність розширення визначається температурним полем в деталі, що охоплює. Якщо деталь вісесиметрична, то і поле повинно бути вісесиметричним.

Закони остигання тіл, відповідно до яких ніж довше процес нагрівання і більш нагріто тіло, тим більше віддача тепла, вказують напрям зменшення витрат теплової енергії за складовими  $Q_3$  і  $Q_4$ : короткочасність теплового імпульсу, що діє на деталь, що охоплює, при мінімально можливій температурі на поверхнях, які віддають тепло в навколишнє середовище, елементи пристосувань розбирання і охоплювану деталь. Остання вимога зумовлює необхідність нерівномірного нагріву елемента виробу, що охоплює.

Отже, перша – енергетична умова роз'єднання елементів виробу з використанням теплового впливу, визначається рівнянням 1.

Гранична температура температурного поля визначає ступінь збереження фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, отже, як і енерговитрати, вона є лімітуючим параметром технологічного процесу.

Друга умова впливає з необхідності забезпечення достатнього  $T_{\min}$  і допустимого  $T_{\max}$  рівня температур в охоплюваному елементі. Так, величину  $T_{\max}$  визначає максимально допустима температура з умови збереження фізико-механічних властивостей металу, а  $T_{\min}$  – це температура достатня для розбирання з'єднання. Слід зазначити, що фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів необоротно змінюються при нагріванні до температур понад  $360^\circ\text{C}$ , а також в разі виникнення неприпустимих за величиною температурних напружень.

Для якісного роз'єднання елементів виробу друга – температурна умова

$$T_{\max} \leq [T], \quad (2)$$

де  $[T]$  – допустима температура нагріву деталі.

Тут слід зауважити, що чим нижче частота струму в індукторі, тим більше глибина проникнення в метал електромагнітного поля, і чим нижче частота, тим легше витримати цю умову.

Третя умова якісного роз'єднання – умова збереження міцності матеріалу деталі, що нагрівається, при нерівномірному нагріві. Як відомо, температурні напруги в матеріалі відсутні при рівномірному нагріві. Напруги створюються внаслідок градієнта температур при тій чи іншій формі температурного поля і особливо великими вони можуть виявитися у деталей складної конфігурації (дисків гіперболічного профілю або ступінчастого). Таким чином, третьою умовою роз'єднання є співвідношення

$$[\sigma_R] \geq \sigma_{R \max}, \quad [\sigma_e] \geq \sigma_{e \max}, \quad (3)$$

де  $[\sigma_R]$  та  $[\sigma_e]$  – допустимі радіальні і окружні нормальні температурні напруги за умови зберігання міцності матеріалу за межею текучості.

Невідповідність температурного поля конструктивним особливостям деталі, що охоплює, призводить до спотворення форми отвору внаслідок температурних деформацій, викликаних

температурними напруженнями. Так само, як при рівномірному, так і при нерівномірному, але вісесиметричному полі у симетричних деталей спотворення форми практично відсутні. Отвір деформується, якщо деталь має складну форму і нагрів нерівномірний.

Суттєвих спотворень форми посадочного отвору при нагріванні слід уникати при розбиранні з'єднань з натягом, оскільки спотворення не дадуть можливості провести роз'єднання елементів виробу при виконанні першої умови розбирання. Тобто в деталі, що охоплює буде вкладено необхідну кількість енергії  $Q_1$ , але вона буде неправильно розподілена. Для роз'єднання елементів в цьому випадку необхідне збільшення витрат енергії.

Якщо підводити до деталі, що охоплює, необхідну для розбирання енергію  $Q_1$  і  $Q_2$  з дуже великою швидкістю або, навпаки, протягом тривалого періоду, то, як зазначалося, зростає  $Q_3$ . Це може привести до порушення температурного умови – деталь, що охоплює, виявиться непридатною до повторного використання, хоча роз'єднання елементів виробу здійсниться. При досить тривалому підводі тепла розбирання взагалі може не відбутися, внаслідок переходу нестационарного теплового режиму нагріву в стаціонарний. Тобто встановиться рівність між теплотою що підводиться до деталі, що охоплює, і теплотою що відводиться в одиницю часу.

Таким чином, для з'єднань з натягом з тривалістю теплового впливу пов'язана не тільки продуктивність і енергоємність процесу, а й результат операції розбирання в цілому, а так само її якість. З цього випливає четверта умова роз'єднання

$$\tau_n \geq [\tau], \quad (4)$$

де  $[\tau]$  – мінімально допустимий час теплового імпульсу.

### **Висновки**

Таким чином, сформульовані чотири умови теплового роз'єднання елементів, що забезпечують економічний бездефектний процес розбирання з використанням швидкісного індукційного нагріву. Вони взаємопов'язані і в їх основі лежить принцип спрямованого і дозованого теплового впливу протягом певного часу.

### **Список використаних джерел:**

1. Андреев А. Г. К вопросу оптимизации технологических нагревов при сборке и разборке соединений с натягом / А. Г. Андреев, А. Н. Куцын, А. В. Щепкин // *Динамика и прочность машин* : республик. межвед. науч.-техн. сб. / ХГПУ. – Харьков, 1998. – Вып. 56. – С. 162–167.
2. Павлова А. А. Нормативное обеспечение технологий тепловой сборки соединений с натягом : монографія / А. А. Павлова ; Укр. інж.-пед. акад. – Харків : НТМТ, 2013. – 118 с.
3. Романов С. В. Повышение качества разделения многокомпонентных соединений при использовании термовоздействия / С. В. Романов, А. Н. Лагода // *Проблемы машиностроения* / Институт проблем машиностроения. – 2013. – Т. 16, №6. – С 61–65.

### **References**

1. Andreev, A, Kutsyn, A & Shchepkin 1998, 'K voprosu optimizatsii tekhnologicheskikh nagrevov pri сборке i razborke soedineniy s natyagom', *Dinamika i prochnost mashin: Respublikanskiy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskiiy sbornik KhGPU*, no. 56, pp. 162-167.
2. Pavlova, A 2013, *Normativnoe obespechenie tekhnologiy teplovy sborki soedineniy s natyagom*, NTMT, Kharkiv.
3. Romanov, S & lagoda, A 2013, 'Povyshenie kachestva razdeleniya mnogokomponentnykh soedineniy pri ispolzovanii termovozdeystviya', *Problemy mashinostroeniya Institut problem mashinostroeniya*, vol. 16, no. 6, pp. 61-65.

Стаття надійшла до редакції 20 липня 2014 р.