

ОЦІНКА МІЦНОСТІ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ АКУСТИКО-ЕМІСІЙНИМ МЕТОДОМ

У статті наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень, які дозволили встановити взаємозв'язок інформаційних параметрів акустичної емісії з міцністю з'єднань з натягом, формування яких здійснювалося термічним методом.

Ключові слова: з'єднання з натягом, термічний спосіб складання, контроль якості, що не руйнує, контроль за акустичними сигналами, контроль за частотно-тепловими параметрами.

ANATOLIY SEMENOVICH ZENKIN, IVAN LEONIDOVICH OBORSKIY, JULIA VLADIMIROVNA OSTAPUK
KIEV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

EVALUATION OF STRENGTH OF CONNECTIONS WITH THE INTERFERENCE OF ACOUSTICIAN BY THE EMISSIVE METHOD

Abstract: The results of theoretic and experimental studies which establish the relationship of the information parameters of acoustic emission strength of the connection with interference, the formation of which was carried out by thermal method. It is proven, that strength of connections influences a quantity of micro failures, which cause the emission of the waves of the stresses. Than their smaller quantity and a total quantity of signals AE, that is more strength. Is established the dependence of a total quantity of signals AE on the interference. With a change in the value of interference from the minimum value to the maximum a total quantity of signals AE changes in the backward sequence. It is established, that the duration of emission AE with shaping of the zone of contact of connections with the interference, assembling which is conducted with the cooling, it coincides in the time with the duration of the process of the temperature balance of mating parts in the contact zone. For operational quality control of the process of the formation of connections during the assembling with the cooling it is proposed to use this parameter AE as the intensity of emission (IAE). It is determined, that, other conditions being equal, the intensity of emission is different in connections during the assembling with the different interferences. For the connections, whose assembling is accomplished with the maximum interference, characteristic is the greatest intensity the shortest time of emission, which is assumed as the basis of the development of the technical-normative documents of the base process of assembling.

Keywords: connection with the interference, the thermal method of assembling, nondestructive quality control, control in terms of the audible signals, control on the frequency- thermal parameters.

Вступ

Якість продукції машинобудівних і приладобудівних підприємств, в значній мірі зумовлюється технічним рівнем і станом складального виробництва і, зокрема, наявністю ефективних методів контролю зібраних з'єднань. Одним із завдань сучасного складального виробництва є вдосконалення технології складання з'єднань з натягом, які отримали широке застосування в різних машинах і механізмах завдяки своїй простоті, технологічності виготовлення і економічності. Відомо також, що міцність з'єднань з натягом, зібраних термічними методами, значно вище міцності з'єднань, одержуваних механічною запресовуванням. Вочевидь, що широке впровадження цієї прогресивної технології, особливо при виготовленні відповідальних виробів (колісних пар залізничного складу, несучих вузлів редукторів), може бути здійснене тільки при ретельному опрацюванні послідовності виконання операцій технологічних процесів складання, а також за наявності ефективних методів контролю, до яких зокрема можна віднести методи і засоби неруйнівного контролю (ЗНК). Серед ЗНК особливе місце займає акустико-емісійний неруйнівний контроль (АЕНК), що полягає в реєстрації і аналізі сигналів акустичної емісії, що виникають у процесі формування з'єднань [3–5].

Аналіз науково-технічної літератури [1, 2] свідчить, що ефективність впровадження АЕНК в значній мірі залежить від достовірності одержуваної від них інформації, її відтворюваності, а для цього необхідне своєчасне і якісне метрологічне забезпечення, а також наявність керівних документів (КД), методичних вказівок та інших нормативно-технічних документів (НТД) з неруйнівного контролю акустико-емісійним методом. Нажаль, в даний час практично відсутні КД, інструкції, методики, положення, вказівки, регламенти тощо по застосуванню АЕНК для оцінки міцності з'єднань з натягом при термічному способі складання.

Постановка завдання

Метою статті є спроба обґрунтувати вибір інформативних параметрів акустичної емісії та встановити її зв'язок з характеристиками міцності з'єднань з натягом при складанні термічним способом.

Результати дослідження та їх обговорення

Відмінною особливістю формування зони контакту (рис. 1) сполучуваних деталей з'єднань з натягом при термічних методах складання є те, що спочатку в момент складання в зоні контакту є певний газовий прошарок, розмір якого змінюється залежно від шорсткості поверхонь, що сполучаються, різниці температур вала (T_1) і втулки (T_2), а також величини тимчасового термічного зазору S_T . Внаслідок обмеженості простору між контактними поверхнями деталей, що сполучаються, в газовому прошарку практично відсутня конвекція газів, тому тепловіддача між деталями, що сполучаються, обумовлюється теплопровідністю газового прошарку та його товщиною.

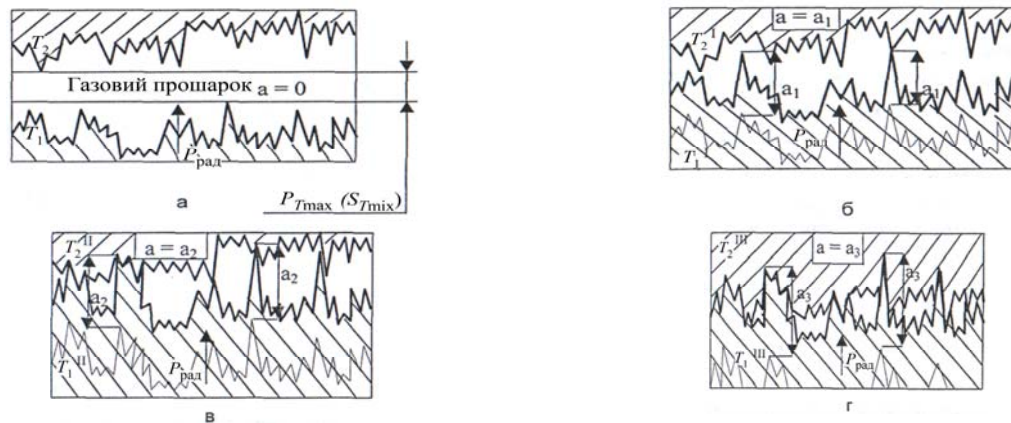


Рис. 1. Модель контактування поверхонь деталей (втулка зверху) з різною температурою при складанні з охолодженням вала: а – початковий момент складання; б – перше контактування двох найбільш високих мікронерівностей; в – вступ в контакт середніх і малих мікронерівностей; г – збільшення фактичної площі контакту за рахунок глибокого впровадження мікронерівностей

При нагріванні охоплюваної деталі технологічний (тимчасово утворений термічний) зазор зменшується і відбувається контактування сполучуваних поверхонь. Процес скріплення закінчується, коли складальний технологічний зазор стає рівним нулю, а між посадочними поверхнями деталей ще відсутній радіальний контактний тиск p . У міру зростання тиску p , що залежний від величини натягу N , відбувається процес зближення контактуючих поверхонь, який характеризується більш інтенсивним контактним теплообміном і вирівнюванням температур в зоні контакту. Подальший перерозподіл теплоти між деталями з'єднання при триваючому теплообміні з навколишнім середовищем збільшує щільність контакту і формує зону спряження.

При кожному контактуванні мікронерівностей поверхонь, що сполучаються, генерується імпульс АЕ. Сукупність цих імпульсів реєструється на поверхні у вигляді сумарної АЕ ($\sum N_{AE}$). Цей процес супроводжується збільшенням плям контакту і сумарної АЕ та відбувається до того моменту, поки вирівнюються температури контактних поверхонь деталей, що охоплює та охоплюється, та перестає збільшуватися радіальний тиск. Сумарна АЕ взаємопов'язана з фактичною площею контакту, що утворилася в результаті дії радіального тиску, і може бути використана в якості параметра для оцінки міцності формованого з'єднання.

Таким чином, якщо припустити, що сумарне переміщення плями контакту двох сполучених мікронерівностей, виражене числом більше нуля, викликає пружний імпульс, то аналіз умови виникнення АЕ буде зводитися до розрахунку сумарної кількості переміщення плями контакту U_r . У свою чергу, знаючи кількість плям контакту n_r та їх сумарне переміщення, що викликають імпульси акустичної емісії, можна визначити сумарну АЕ. На величину сумарної кількості переміщення плями контакту істотний вплив роблять час контакту та амплітуда коливання температури при контактному теплообміні між деталями, що охоплює та охоплюється.

Величина $\sum N_{AE}$ для з'єднань з натягом визначається наступним виразом:

$$\sum N_{AE} = U_r n_r \quad (1)$$

Сумарна АЕ, залежна від параметрів контактного тиску, контактування мікронерівностей, контактного теплообміну, дозволяє пов'язати ці параметри з характеристиками міцності з'єднань. Знаючи величину натягу N і температури деталей, що сполучаються, T_1 і T_2 розрахувавши параметри номінальної S_n , контурної S_c і фактичної S_ϕ площі контакту і встановивши їх зв'язок з процесами контактування поверхонь з урахуванням теплофізичних явищ між деталями з різною температурою, а також враховуючи значення величин радіального навантаження $P_{рад}$, сили тертя F , питомого контурного тиску p_c , площі безпосереднього контакту мікроступів S_k контактного тиску p , часу вирівнювання температур в зоні контакту τ_ϕ , амплітуди коливань температури A_n , можна визначити параметри АЕ ($n_r, U_r, \sum N_{AE}$) при формуванні з'єднань і по них судити про експлуатаційну надійність з'єднань з натягом, складання яких здійснюється з використанням охолодження.

Зазначені параметри були розраховані для дослідних з'єднань з посадковим діаметром 50 мм, що були виготовлені зі сталі 45 (зовнішній діаметр деталі, що охоплює – втулки дорівнював 100 мм, довжина спряження – 60 мм) з середніми натягами 30, 50, 70 мкм. Шорсткість поверхонь деталей, що сполучаються, була прийнята для охоплюваної деталі-валика $R_a = 2,5$ мкм (токарна обробка), для деталі, що охоплює, втулки $R_a = 1,25$ мкм (шліфування, полірування). Охолодження валу здійснювалось в середовищі рідкого азоту до температури -196°C . Для виготовлення вала і втулки можуть бути використані різні способи отримання заготовок-лиття, прокат, штампування, кування тощо.

Реєстрація та запис сигналів АЕ проводилася за допомогою спеціальної апаратури і пристосувань безпосередньо в процесі формування з'єднання, коли охолоджена деталь перебувала в отворі втулки. Апаратура дозволяла уловлювати сигнали акустичної емісії, починаючи з початкового періоду формування зони контакту з чутливістю 5 мкВ при рівні шуму 2,5 мкВ, що приведений до входу, при цьому

використовувався п'єзокерамічний датчик марки ЦТС-23.

Проведені дослідження дозволили отримати взаємозв'язок між технологічними складальними параметрами і параметрами акустичної емісії (табл. 1).

Таблиця 1

Середні значення параметрів акустичної емісії, часу формування зони контакту, величини натягу і зусиль вісьового здвигу дослідних з'єднань із номінальним посадковим діаметром 50 мм

Складальний натяг N , мкМ	Зусилля осьового здвигу (розпресовування), $P_{в}$, кН	Час формування зони контакту, τ_{ϕ} , с	Сумарна АЕ ($\sum N_{AE}$), імп.	Інтенсивність випромінювання N , імп./с
30,0	150,0	90,0	12000	200
50,0	264,0	50,0	5000	250
70,0	446,0	35,0	4000	333

Як видно з даних, наведених у таблиці 1, при зміні величини натягу в з'єднаннях від мінімального до максимального значення сумарна кількість сигналів АЕ зменшується, а інтенсивність – збільшується.

Таким чином, сумарне випромінювання АЕ та її інтенсивність можуть бути використані як оціночні параметри при неруйнівному методі контролю міцності з'єднань.

Для оперативного контролю якості процесу формування з'єднань при складанні з охолодженням запропоновано використовувати такий параметр АЕ як інтенсивність випромінювання (N_{AE}). Взаємозв'язок інтенсивності N_{AE} з тривалістю формування зони контакту з'єднань з різними натягами наведено на рис. 2. Найтриваліший час формування зони контакту з випромінюванням АЕ у з'єднань з найменшим натягом 30 мкМ, у з'єднань з натягом 50 і 70 мкМ за цей час зменшується відповідно в два та три рази.

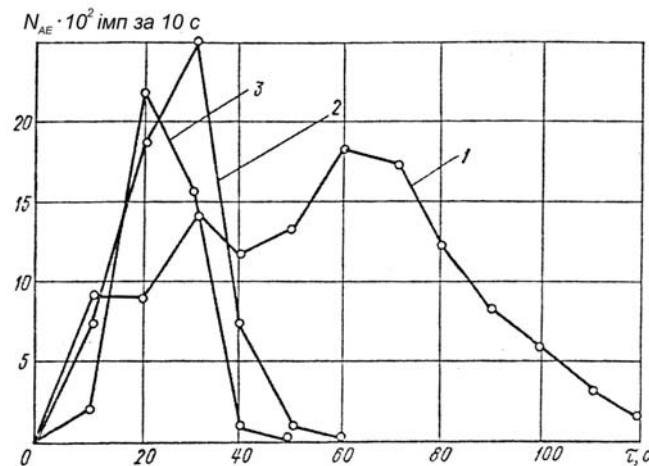


Рис. 2. Взаємність інтенсивності N_{AE} з тривалістю формування зони контакту дослідних з'єднань з різними натягами (номінальний діаметр з'єднання 50 мм). Середні натяги 1, 2 та 3-ї партій з'єднань відповідно 30, 50, 70 мкМ

Встановлено, що за інших рівних умов у з'єднань при посадці з різними натягами інтенсивність випромінювання різна. Для з'єднань, складання яких здійснюється з максимальним натягом, характерним є найбільша інтенсивність і найменший час випромінювання.

Проведені дослідження з'єднань, що зібрані з охолодженням, з різними геометричними розмірами, виявили залежність зміни емісійних характеристик від площі деталей. Зі збільшенням площі їх контакту (при однаковому відносному натягу) спостерігається загальне зростання сумарної акустичної емісії.

Результати проведених досліджень дозволяють зв'язати параметри акустичної емісії з величиною зусиль вісьового здвигу з'єднань, демонтаж яких проводиться після зняття характеристик АЕ. Так як міцність формованих з'єднань залежить від величини натягу, то всі отримані закономірності (натяг – параметри АЕ) справедливі і для характеристики міцності з'єднань.

Проведені аналітичні дослідження дозволили в кінцевому підсумку отримати формулу для розрахунку максимального допустимого навантаження на сформоване з'єднання

$$P_{\max} = \sqrt{\frac{S_r n_r F r_H (1 + \mu) \frac{a - m_a}{n'} S_c b / p_c C \sigma_s}{\sum N_{AE} r_i \sqrt{2E}}} \exp \left[-\frac{\delta_1}{\sqrt{2}} \left(\tau_{\phi} - \frac{r_{01} - r_0}{C_2} \right) \right] A_n, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; E – модуль пружності; σ_s – межа плинності; a – газовий прошарок; b – коефіцієнт опорної кривої; C – коефіцієнт, що характеризує форму виступів; r_H – радіус посадки (номінальний); r_1 – внутрішній радіус пустотілого вала; r_0 і r_{01} – радіуси вала і втулки в момент складання; n' , m_a , δ_1 , C_2 – розрахункові коефіцієнти.

Наявність у (2) величини $\sum N_{AE}$ дозволяє найбільш повно враховувати всі процеси, що відбуваються в зоні контакту при формуванні з'єднань з натягом при складанні з охолодженням.

В результаті проведених аналітичних досліджень отримані дані, які дозволили встановити закономірності між процесами, що протікають при формуванні зони контакту, і значеннями сумарної АЕ залежно від величини натягу, числа плям контакту, коливань температур між деталями, що сполучаються тощо. Розбіжність розрахункових і експериментально отриманих даних сумарної АЕ в зоні контакту, часу формування зони контакту і міцності з'єднань знаходиться в межах 5-6 %.

Висновки

Доведено, що на міцність з'єднань впливає кількість мікроруйнування, яке викликає емісію хвиль напружень. Чим менша їх кількість і сумарна кількість сигналів АЕ, тим більше міцність. Встановлено залежність сумарної кількості сигналів АЕ від натягу. При зміні величини натягу від мінімального значення до максимального сумарна кількість сигналів АЕ змінюється в зворотній послідовності. Встановлено, що тривалість випромінювання АЕ при формуванні зони контакту з'єднань з натягом, складання яких проводиться з охолодженням, збігається у часі з тривалістю процесу вирівнювання температур сполучаємих деталей в зоні контакту. Для оперативного контролю якості процесу формування з'єднань при складанні з охолодженням запропоновано використовувати такий параметр АЕ як інтенсивність випромінювання (ІАЕ). Визначено, що за інших рівних умов у з'єднань при складанні з різними натягами інтенсивність випромінювання різна. Для з'єднань, складання яких здійснюється з максимальним натягом, характерними є найбільша інтенсивність і найменший час випромінювання, що покладено в основу розробки нормативно-технічних документів базового процесу складання.

Література

1. Зенкін А.С. Сборка неподвижных соединений термическими методами / А.С. Зенкин, Б.М. Арпентьев. – М. : Машиностроение, 1987. – 128 с.
2. Технология автоматической сборки / [А.Г. Холодкова, М.Г. Криштал, А.С. Зенкин, Б.Л. Штриков и др.]; под. ред. А.Г. Холодковой. – М. : Машиностроение, 2010. – 560 с.
3. Зенкин Н.А. Математические методы определения оптимального уровня качества изделий на стадиях научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок / Н.А. Зенкин, С.С. Федин, Тамими Хайдар Мусбах // Международный сборник научных трудов. Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк, 1999. – Выпуск 7. – С. 68–75.
4. Павленко В.М. Контроль якості з'єднань із натягом при механічному запресуванні і складанні з термонагрівом / В.М. Павленко, В.В. Гавриленко, Тамімі Хайдар Мусбах // Експрес новини: наука, техніка, виробництво. – К. : УкрІНТЕІ, 1999. – № 13-14. – С. 48–49.
5. Зенкін А.С. Контроль якості з'єднань з натягом, зібраних термічним способом / А.С. Зенкін, І. Л. Оборський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2011. – № 5/9 (53). – С. 39–43.

References

1. Zenkin A. S., Arpentev B. M. Sborka nepodvignih soedinenij termichnimy metodami. – M.: Mashinostroenie, 1987. – 128 s.
2. Technology automatic sborki / A. G. Holodkova, M. G. Krishtal, A. S. Zenkin, B. L. Shtrikov i dr. pod. red. A. G. Holodkovoі. – M.: Mashinostroenie, 2010. – 560 s.
3. Zenkin M. A., Fedin S. S., Tamimi Hajdar Musbah. Matematichni metodi opredelenia optimalnogo urovnja kachestva izdelij na stadijah nauchno-issledovatel'skih i opitno-konstruktorskih razrabotok // Megdunarodni sbornik nauchnih trudov. Progressivni tehnologii i sistemi mashinostroenia. Vipusk 7. – Doneck, 1999. – S. 68-75.
4. Pavlenko V. M., Gavrilenko V. V., Tamimi Hajdar Musbah. Kontrol jakosti zednan z natiagom pri mehanichnomu zapresovuvanni i skladanni z termonagrivom // Ekspress-novini: nauka, tehnika, virobnictvo, – K.: UkrINTEI, 1999. – № 13-14. – S. 48-49.
5. Zenkin A. S., Oborskiy I. L. Kontrol jakosti zednan z natiagom, zibranih termichnim sposobom / A. S. Zenkin, I. L. Oborskiy // Vostochno-Evropejski gurnal peredovih tehnologij. – № 5/9 (53). – Kharkiv. – 2011. – S. 39–43

Рецензія/Peer review : 8.3.2013 р. Надрукована/Printed : 7.4.2013 р.
Статтю представляє: д.т.н., проф. Зенкін А.С.