

3. Чабан А. Алгоритм розрахунку ударних струмів та моментів синхронного турбогенератора в режимі короткого замикання на виводах якоря // *Технічна електродинаміка*. – 2005. – № 5. – С. 54–58. 4. Чабан В.И., Харченко Е.В. Математическая модель крутильных колебаний турбоагрегатов // *Техническая электродинамика*. – 1990. – № 4. – С. 71–75. 5. Харченко Є.В., Колесник К.К. Зниження віброактивності приводних систем шляхом застосування пружних муфт квазінульової жорсткості // *Вісн. Вінницького політехн. ін-ту*. – 2003. – С. 66–72.

УДК 539.38:539.214

А.Г. Шандрівський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра деталей машин

НАБЛИЖЕНИЙ РОЗВ’ЯЗОК ЗАДАЧІ ПРОПОРЦІЙНОГО ІЗОТЕРМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ У МЕЖАХ СИНТЕЗНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ МАТЕРІАЛІВ З ТЕРМОПРУЖНИМ МАРТЕНСИТНИМ ПЕРЕТВОРЕННЯМ

© Шандрівський А.Г., 2006

Проаналізовано аналітичні співвідношення синтезної теорії для випадку ізотермічного пропорційного навантаження. Обґрунтовано межі застосування наближеного розв’язку задачі.

In work the analysis of analytical correlations of synthetic’s theory is conducted for the case of the isothermal proportional loading. The scopes of application of close decision of task are grounded.

Постановка проблеми. Створенням моделей для опису деформаційної поведінки матеріалів з термопружним мартенситним перетворенням було розпочато з моменту їх винаходу. Цим матеріалам притаманні ефекти надпружності, пам’яті форми, орієнтованого перетворення. Особливості деформаційної поведінки обумовлені великою кількістю параметрів різного походження. Їх виявлення і врахування для кожного випадку є задачею надзвичайно складною. Для спрощення використовують апроксимаційні криві, де криволінійну залежність деформації від навантаження або температури наближають прямими лініями. Зміна хоча б одного з параметрів примушує шукати наступну залежність. Подібні моделі не ґрунтуються на складних фізичних процесах, які виявлені в матеріалах з термопружним мартенситним перетворенням. Останнім часом швидко розвивається структурно-аналітична теорія міцності. Вона вже сьогодні розглядає дворівневу модель і розширюється на середній рівень знаходження деформацій, так звані мезодеформації [1]. Трирівнева модель [1] побудована спеціально для комп’ютерного моделювання, але вона залишається надзвичайно складною і далекою від реальних розрахунків, які можуть бути використані під час конструювання елементів машин із сплавів з термопружним перетворенням. Отже, залишається відкритим питання простої і, одночасно, фізично обґрунтованої моделі для знаходження незворотної деформації в матеріалах з фазовим перетворенням.

Аналіз відомих робіт і публікацій. У роботах [2, 3] було розроблено модель незворотної деформації у межах синтезної теорії. Було отримано співвідношення для опису деформаційної поведінки матеріалів з термопружним мартенситним перетворенням. Застосування отриманих співвідношень на практиці не є завжди доцільним, оскільки точність прогнозу деформацій

залежить від багатьох факторів: фізико-хімічних характеристик, структури, припущень моделі, геометрії деталі тощо. Врахувати вплив всіх чинників на поведінку практично не можливо, тому використання наближених формул може давати задовільний результат. Для встановлення наближених формул потрібно обґрунтувати межі їх застосування.

Постановка задачі. Метою статті є встановлення простих формул для опису незворотної деформації під час пропорційного навантаження у випадку ізотермічного силового впливу на матеріал з термopружним мартенситним перетворенням у зоні фазового переходу, а також обґрунтування меж застосування цих формул. Задачу розв'язано в приростах, що дає змогу використовувати отриманий розв'язок у задачах динаміки, теплових, дифузійних та інших складних фізичних процесах. За основу було взято синтезну теорію пластичності [4], яка є дворівневою феноменологічною моделлю з розширеною фізичною базою.

Основний матеріал. У роботі [2] запропоновано модель, у межах якої було встановлено швидкість деформації під час ізотермічного навантаження.

$$\dot{\varepsilon}_k = 2\pi\dot{S} \int_{\beta_2}^{\beta_1} \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \cos^2 \beta' \cos^2 \lambda \sin \beta' d\beta' d\lambda, \quad (1)$$

де

$$\beta_1 = \arccos w, \quad \lambda_1 = \arccos \frac{w}{\cos \beta'}, \quad \beta_2 = \arccos u, \\ \lambda_2 = \arccos \frac{u}{\cos \beta'}, \quad w = \frac{T - M_s}{kS}, \quad u = \frac{T - M_f}{kS}, \quad k = \frac{T_0 D_{13}}{q_0},$$

T – температура матеріалу, M_s , M_f – характеристичні температури початку і завершення фазового переходу, T_0 – температура рівноваги фаз, q_0 – прихована теплота фазового перетворення.

Інтеграл у співвідношенні (1) має розв'язок:

$$\int_0^{\beta_1} \int_0^{\lambda_1} \cos^2 \beta' \cos^2 \lambda \sin \beta' d\beta' d\lambda = F_1(w) + F_2(w) + F_3(w) + F_4(w), \quad (2)$$

де

$$F_1 = \frac{1}{6} \arccos(w), \quad (3)$$

$$F_2 = \frac{1}{6} w \sqrt{1 - w^2}, \quad (4)$$

$$F_3 = \frac{w^3}{4} \ln \frac{w}{1 + \sqrt{1 - w^2}}, \quad (5)$$

$$F_4 = \frac{w^3}{12} \left(\frac{\pi}{2} - \arctg \frac{1}{1 - w^2} \right). \quad (6)$$

Внесок кожної з функцій зображений на рис. 1.

Внесок функції $F_4(w)$ не перевищує 0,1% і ним можна нехтувати, що було зроблено в роботі [3].

Відносна похибку між точним розв'язком і функцією $F_1(w)$ подано на рис. 2.

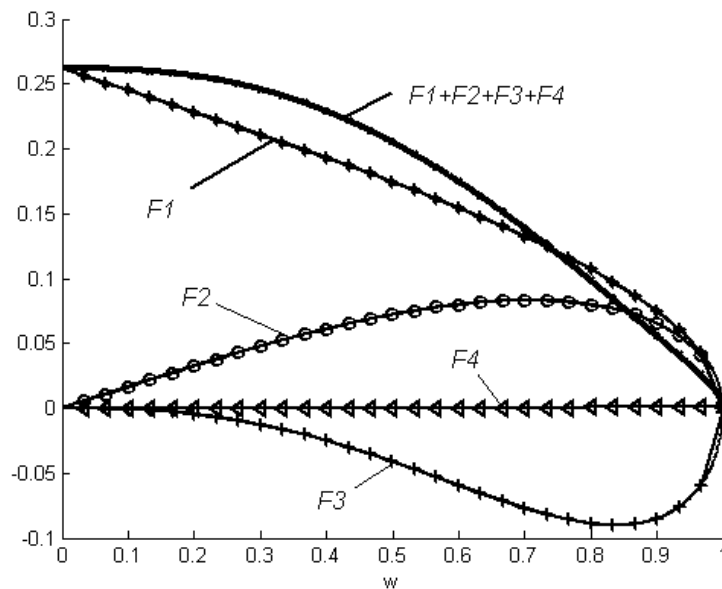


Рис. 1. Залежність від w функцій, які входять до складу співвідношення (2)

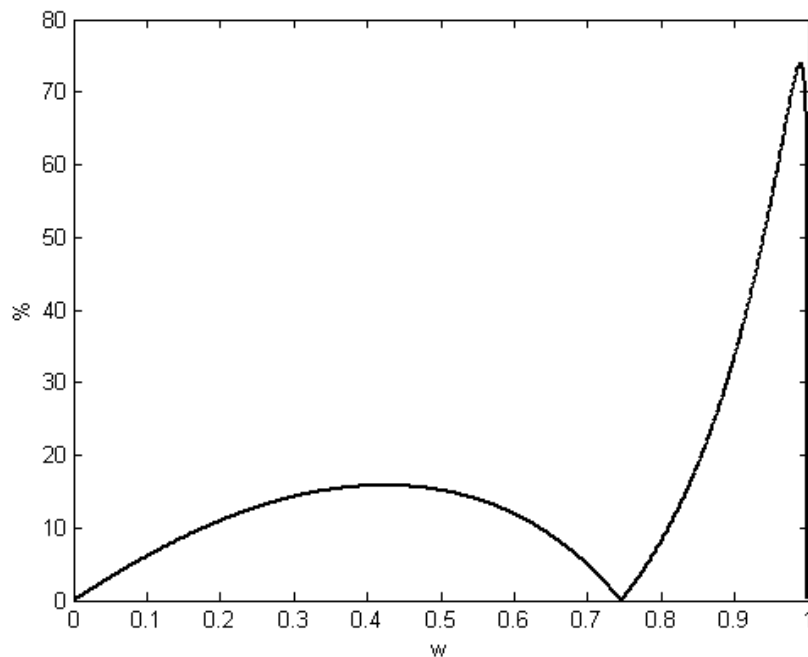


Рис. 2. Відносна похибка між $F_1(w)$ і співвідношенням (2) залежно від w

Висновки. Як видно з рис. 2, на проміжку зміни w від 0 до 0,85 похибка не перевищує 20 %. Оскільки під час ізотермічного навантаження, а саме для такого виду деформації запропоновано цей розв'язок, напруження не мають перевищувати межі текучості, то використання функції $F_1(w)$ замість інтеграла (2) стає виправданим для попередніх або грубих розрахунків.

Стосовно функцій $F_2(w)$ і $F_3(w)$, то їх використання стає доцільним для знаходження точнішого розв'язку за невеликих навантажень ($w < 0,8$) і особливо за напружень близьких до межі текучості.

1. Малинина Н. А. Деформация и разрушение поликристаллов с микронапряжениями // НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2003. – 160 с.
2. Русинко К.М., Шандрівський А.Г. Незворотна деформація при мартенситному перетворенні // ФХММ. – 1995. – № 6. – С. 114–117.
3. Русинко К.М., Шандрівський А.Г. Фазова деформація наводнених полікристалічних тіл //

Проблемы прочности. – 1999. – № 1. – С. 53–59. 4. Андрусик Я.Ф., Русинко К.Н. Новый подход к феноменологической трактовке концепции скольжения // Математические и физико-механические поля. – К.: Наук. думка, 1989. – Вып. 30. – С. 55–57.

УДК 621.9.048.6

Т.С. Ярошевич, В.М. Тимошук, М.П. Ярошевич
Луцький державний технічний університет

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САМОСИНХРОНІЗАЦІЇ ДЕБАЛАНСНИХ ВІБРОЗБУДНИКІВ

© Ярошевич Т.С., Тимошук В.М., Ярошевич М.П., 2006

За допомогою пакета програм Maple досліджено процес самосинхронізації дебалансних збудників вібраційних машин.

The research of process of self-synchronization of debalanced exciters of vibrational machines with the help of software package Maple is conducted.

Постановка задачі та її розв'язання. Для створення високоефективних і надійних вібраційних машин важливе значення має явище самосинхронізації механічних віброзбудників. Сьогодні теорію синхронізації таких збудників розроблено досить повно. При цьому переважну більшість результатів отримано аналітично методом малого параметра А. Пуанкаре, а також методами усереднення, прямого розділення рухів та за допомогою інтегрального критерію стійкості синхронних рухів [1–3]. Однак для виявлення можливості практичного застосування явища самосинхронізації досить важливим є питання про умови встановлення синхронних режимів. Теоретично отримані умови існування та стійкості (у малому) стаціонарних режимів обертання роторів збудників ще не гарантують встановлення цих синхронних режимів за початкових умов, що зустрічаються у конкретних системах. Тому необхідно вдаватися або до постановки експерименту, або до побудови числових моделей процесів за допомогою ЕОМ.

У роботах [4, 5] для дослідження самосинхронізації дебалансних віброзбудників використовувались ЕОМ. Проте в цих працях такі важливі з точки зору динаміки питання, як встановлення синхронного режиму руху збудників, вплив на нього параметрів коливної системи та двигунів або не розглядались, або досліджені недостатньо.

Застосуємо сучасне програмне забезпечення для моделювання самосинхронізації дебалансних віброзбудників вібраційних машин.

Нехай на тримкому твердому тілі (вібуючому органі машини), встановлено кінематично не з'єднані між собою дебалансні збудники, що приводяться в рух від незалежних електродвигунів асинхронного типу (рис. 1, 7). Тримке тіло зв'язане з нерухомою основою за допомогою пружних елементів і в загальному випадку може здійснювати плоскі коливання. Система характеризується узагальненими обертальними координатами – кутами повороту віброзбудників φ_s , та трьома узагальненими коливними координатами – горизонтальним, вертикальним та кутовим переміщеннями тримкого тіла x , y , φ .

Математична модель руху такої коливної системи являє собою диференціальні рівняння вигляду [1]:

$$I_s \ddot{\varphi}_s = L_s(\dot{\varphi}_s) - R_s(\dot{\varphi}_s) + m_s \varepsilon_s (\ddot{x} \sin \varphi_s + \ddot{y} \cos \varphi_s - \ddot{\varphi} r_s \cos \varphi_s + g \cos \varphi_s) \quad (s=1, \dots, k),$$