

---

# VẬT LIỆU CHỨC NĂNG VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG Ở VIỆT NAM

## FUNCTIONALLY GRADED MATERIAL AND APPLIED POTENTIALITY IN VIETNAM

ThS. BÙI QUỐC BÌNH  
Khoa Công trình thủy - Trường ĐHHH

### Tóm tắt:

Vật liệu chức năng là một loại composite đặc biệt. Khác với vật liệu composite truyền thống có đặc tính vật liệu biến đổi dạng bước, vật liệu chức năng có các đặc trưng vật liệu biến đổi liên tục từ mặt này qua mặt khác. Đặc tính này của vật liệu chức năng làm giảm ứng suất nhiệt, ứng suất dư và ứng suất tập trung thường có trong vật liệu composite truyền thống. Bài báo này giới thiệu một cách khái quát về vật liệu chức năng và tiềm năng ứng dụng ở Việt Nam.

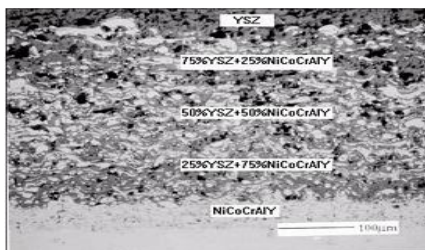
### Abstract:

Functionally graded materials (FGMs) are regarded as special composite materials. Functionally Graded Materials have continuous variation of material properties from one surface to another unlike a composite which has stepped (or discontinuous) material properties. The gradation of properties in an FGM reduces the thermal stresses, residual stresses, and stress concentrations found in traditional composites. This article presents an overview of Functionally graded materials and applied potentiality in Vietnam

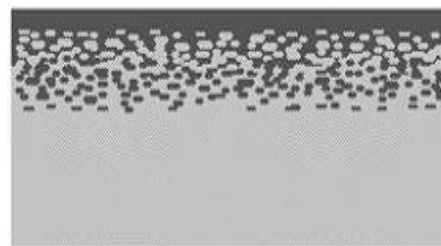
### 1. Khái niệm về vật liệu chức năng

Vật liệu Composite hiện đang được ứng dụng rất rộng rãi trong các ngành công nghiệp tiên tiến trên thế giới như: hàng không, vũ trụ; đóng tàu; ô tô, cơ khí, xây dựng, đồ gia dụng... do có nhiều ưu điểm nổi trội so với kim loại: nhẹ, độ bền, mô đun đàn hồi cao, khả năng cách nhiệt, cách âm tốt. Vật liệu Composite là loại vật liệu được tổ hợp từ 2 pha vật liệu khác nhau, có tính chất rất khác nhau [1]. Vật liệu composite lớp là loại được sử dụng phổ biến, những lớp vật liệu đàn hồi đồng nhất gắn kết với nhau nhằm nâng cao đặc tính cơ học. Tuy nhiên, sự thay đổi đột ngột đặc tính vật liệu tại mặt tiếp giáp giữa các lớp dễ phát sinh ứng suất tiếp xúc lớn tại mặt này gây tách lớp. Một trong những giải pháp khắc phục nhược điểm này của vật liệu composite lớp là sử dụng vật liệu chức năng - Functionally Graded Materials (FGMs) [3].

Vật liệu chức năng - FGMs - là một loại composite mà các đặc tính vật liệu biến đổi liên tục từ mặt này sang mặt khác do đó làm giảm ứng suất tập trung thường gặp trong các loại composite lớp. Sự thay đổi dần dần đặc tính của vật liệu sẽ làm giảm ứng suất nhiệt, ứng suất tập trung và ứng suất dư; Vật liệu chức năng là một tổ hợp các thành phần vật liệu khác nhau gọi là các Maxel (thép, Mg<sub>2</sub>Si, gốm, Ni, Cr, Co, Al...) phân bố trong không gian khối vật liệu theo một trật tự nhất định [2].



Hình 2: Vật liệu chức năng được chế tạo tại Đại học kỹ thuật Nanyang

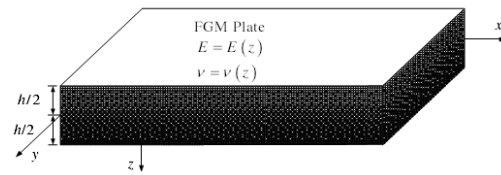


Hình 1: Cắt ngang tấm vật liệu chức năng (mô tả sự thay đổi mật độ vật liệu theo chiều dày) [2].

Bằng cách bố trí các thành phần hợp thành theo một hướng thống nhất, các thành phần này là các vật liệu ở thể không đồng nhất cực nhỏ và được làm từ các thành tố đẳng hướng như kim loại, gốm nên vật liệu chức năng dễ tạo ra các kết cấu tấm, vỏ được ứng dụng ở những nơi có sự thay đổi nhiệt độ lớn, đảm bảo ổn định hình dạng, chịu va chạm, mài mòn hay rung động [4].

## 2. Các loại vật liệu chức năng

Tùy thuộc vào quy luật phân bố các maxel trong không gian khối vật liệu, ta chế tạo được các loại vật liệu chức năng khác nhau. Mỗi loại vật liệu chức năng này có chỉ tiêu cơ-lý đặc trưng bởi một hàm thuộc tính vật liệu (hàm đặc trưng) xác định, giá trị của hàm thay đổi theo chiều dày. Quy luật toán học của hàm thuộc tính vật liệu dùng để phân loại vật liệu [12]. Xét một tấm hình chữ nhật làm bằng vật liệu chức năng (FGM plate) như hình vẽ 3



Hình 3: Sơ đồ hình học một tấm vật liệu chức năng

Hàm đặc trưng cho các đặc trưng vật liệu của tấm được biểu diễn như sau:

$$V(z) = (V_b - V_t)g(z) + V_t \quad (1)$$

Trong đó:

$g(z)$  là hàm mật độ khối lượng (volume fraction);

$V_t$  là đặc trưng vật liệu của tấm ở mặt trên ( $z = -h/2$ );

$V_b$  là đặc trưng vật liệu của tấm ở mặt dưới ( $z = h/2$ );

$V_z$  biểu diễn cho Môđun đàn hồi E, hệ số Poission  $\nu$ , hệ số dẫn nở nhiệt...

Sử dụng  $g(z)$  để làm cơ sở phân loại, các nhà nghiên cứu chia các loại vật liệu chức năng hiện có thành 3 loại cơ bản.

### 2.1 Loại P-FGM

Hàm mật độ khối lượng được giả thiết tuân theo quy luật hàm mũ (Power-law function)

$$g(z) = \left( \frac{z + h/2}{h} \right)^n \quad (2)$$

Trong đó

$n$  là tham số vật liệu, không âm;

$z$  là tọa độ điểm nghiên cứu (theo hình 3).

### 2.2 Loại S-FGM

Hàm mật độ khối lượng được giả thiết tuân theo quy luật hàm Sigmoid (sử dụng 2 quy luật hàm mũ cho 2 miền)

$$g_1(z) = 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{h/2 - z}{h/2} \right)^n \quad \text{với } 0 \leq z \leq h/2 \quad (3.1)$$

$$g_2(z) = \frac{1}{2} \left( \frac{h/2 + z}{h/2} \right)^n \quad \text{với } -h/2 \leq z \leq 0 \quad (3.2)$$

### 2.3 Loại E-FGM

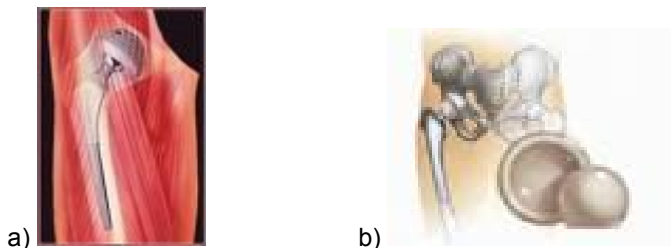
Môđun đàn hồi của loại vật liệu chức năng này được giả thiết tuân theo quy luật hàm siêu việt (hàm e mũ)

$$E(z) = Ae^{B(z+h/2)} \quad \text{với } A=E_t \text{ và } B = \frac{1}{h} \ln \left( \frac{E_b}{E_t} \right) \quad (4)$$

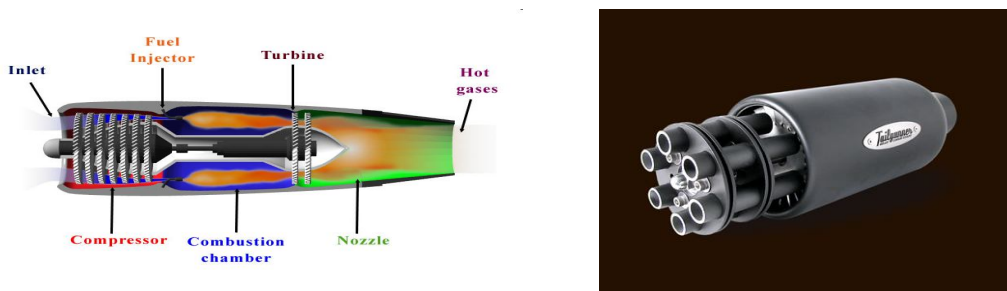
## 3. Ứng dụng của vật liệu chức năng

Được nghiên cứu lần đầu tiên năm 1984 tại trường khoa học vật liệu Nhật Bản với vai trò là một loại vật liệu mới có khả năng cách nhiệt hoặc chống nhiệt cao, đến nay Vật liệu chức năng

đã phát triển ở nhiều nơi trên thế giới [5]. Vật liệu chức năng được dùng để chế tạo các lớp vật liệu cách nhiệt, các chi tiết đặc biệt trong các máy công cụ, vũ khí, chế tạo mô hình thử nghiệm, trong y tế...



Hình 4: Ứng dụng vật liệu chức năng trong y tế.  
 a) Vít cố định xương chế tạo bằng vật liệu chức năng (đảm bảo độ cứng, không bị ăn mòn, không bị cơ thể đào thải);  
 b) Xương nhân tạo. (nguồn: [www.kmm-noe.net](http://www.kmm-noe.net))



Hình 5: Vật liệu chức năng chế tạo chi tiết trong động cơ đốt trong và phân lực (theo [www.soton.ac.uk](http://www.soton.ac.uk))

#### 4. Tình hình nghiên cứu trong, ngoài nước và tiềm năng ứng dụng ở Việt Nam

Trong khoa học hiện đại, vật liệu được coi là 1 trong 3 trụ cột lớn. Thế kỷ 21, vật liệu mới với tính năng cao và đa năng trở thành trọng tâm nghiên cứu khoa học quốc gia. Vật liệu mới mang tính chiến lược được các nước coi trọng hiện nay chủ yếu gồm 3 loại: **vật liệu chức năng**, gốm sứ kỹ thuật cao và vật liệu tổng hợp. Trong 8 tháng đầu năm 2008, giá trị thương phẩm của 3 nhóm vật liệu này trên thế giới vượt 220 tỉ đô-la Mỹ, tỷ lệ tăng trưởng bình quân trước 2008 là 10-15 % mỗi năm. Cơ học vật liệu và ứng dụng vật liệu mới là ngành cơ bản của rất nhiều ngành kỹ thuật công nghệ như: cơ khí chế tạo, xây dựng, giao thông, khai thác tài nguyên, y tế... nên rất được chú trọng ở các quốc gia.

##### 4.1 Tình hình nghiên cứu trong nước

Cho đến nay, nghiên cứu về vật liệu chức năng ở Việt Nam mới chỉ dừng lại ở nghiên cứu công nghệ chế tạo với Luận văn Thạc sỹ chuyên ngành Gia công áp lực "Chế tạo thử vật liệu chức năng  $Al_2O_3-Ni$  bằng phương pháp biến dạng tạo hình và nghiên cứu tính chất công nghệ của chúng ở nhiệt độ cao" do Nguyễn Đặng Thủy thực hiện năm 2003 tại trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Các nghiên cứu tính toán chuyên sâu khác về vật liệu chức năng thì chưa được thực hiện.

##### 4.2 Tình hình nghiên cứu ngoài nước

Từ sau khi được nghiên cứu chế tạo thử nghiệm năm 1984 tại Nhật Bản với mục tiêu là làm tấm, vỏ chịu nhiệt và cách nhiệt. Đến nay, một số bài toán cơ, nhiệt cho kết cấu tấm, vỏ bằng vật liệu chức năng đã được giải quyết. Việc nghiên cứu có liên quan đến cả trường hợp tĩnh và động của tấm đàn hồi nhiệt đẳng hướng và không đẳng hướng được đưa ra chi tiết bởi Tauchert (1986, 1987). Trong các tài liệu hiện nay, sự chú ý tập trung vào đặc trưng cơ học nhiệt của tấm

dày, với biên đổi liên tục của các thành phần xuyên suốt bề dày. Nhiệt độ được cho là chỉ biến đổi dọc theo chiều dày. Ứng suất nhiệt trong các tấm tự do theo một phương được nghiên cứu bởi Schneider (1955). Tang (1968) đã xem xét đặc trưng của các tấm tự do với các thành phần phụ thuộc nhiệt độ. Sự uốn cong ở các tấm nhìn chung được gia tăng thêm bởi sự căng của mặt giữa khi thành phần vật liệu biến đổi theo nhiệt độ, tuy nhiên, sự uốn – căng chỉ biến mất trong tấm tự do khi nhiệt độ thay đổi xuyên suốt chiều dày (Tauchert, 1991). Das và Navaratna (1962) đã nghiên cứu sự uốn cong của các tấm chữ nhật, với sự phân bố nhiệt độ cân đối theo bề mặt giữa. De Leon và Paris (1987) đã phát triển biên tích phân của các biểu thức dựa trên sự phân tích các biểu thức thành phần thành một cặp biểu thức hàm điều hòa. Các kết quả được đưa ra cho một tấm hình vuông đơn giản chống lại sự phân bố nhiệt độ biến đổi dọc theo chiều dày. Các phân tích sự đàn hồi nhiệt bao gồm các ảnh hưởng cắt ngang được đưa ra bởi Das và Rath (1972) và Bapu Rao (1979). Das và Rath đã tận dụng các giải pháp của Levy để giải quyết các biểu thức tuyến tính cho tấm chữ nhật dày chịu sự phân bố nhiệt độ phản đối xứng. Reddy và Hsu (1980) đã đưa ra giải pháp phân tích trong nội bộ hình dạng đối với các tấm mỏng hình chữ nhật đơn giản dưới tải trọng cơ học hình sin. Trong phân tích này, miền nhiệt độ được cho là biến đổi tuyến tính xuyên suốt bề dày, phù hợp với chuyển động học của lý thuyết tấm trước đó được sử dụng. Các biểu thức chủ yếu được giải quyết trong các tài liệu này là tuyến tính theo sự giá định là các sức căng đủ nhỏ. Reddy và Chao (1981) đã nghiên cứu các ảnh hưởng của phép tích phân rút gọn, kích thước maxel, và thứ tự phép nội suy yếu tố phân tử lên độ chính xác của một phần tử vô cùng nhỏ dựa trên lý thuyết tấm bị biến dạng cắt. Họ cũng đã phát triển các giải pháp trong trường hợp tuyến tính đối với việc uốn của tấm chữ nhật có lót và góc liên kết phản đối xứng chịu các tải trọng cơ học và nhiệt học phân bố dạng hình sin. Khdeir và Reddy (1991) đã đưa ra các giải pháp phân tích chính xác cho lý thuyết sắp xếp thứ ba của Reddy (1984a, b, 1987) đối với tấm chữ nhật có lót, nhiệt độ được giả định là biến đổi tuyến tính dọc theo chiều dày. Tất cả các phân tích kể trên có sử dụng đến các mô hình trạng thái căng nhỏ [6]. Hiện tại chưa có các kết quả chi tiết của việc phân tích cơ nhiệt, động lực học của tấm làm bằng vật liệu chức năng với tấm vật liệu chức năng là các tấm vật liệu có nhiều pha, được chế tạo sao cho các ảnh hưởng của bề mặt được giảm nhẹ bởi sự biến đổi liên tục trong các thành phần của vật liệu xuyên suốt chiều dày. Những sự thay đổi thành phần này được thiết kế để đáp ứng một vài yêu cầu sử dụng, điển hình là giảm ứng suất do nhiệt, giảm biến dạng gây ra do nhiệt hoặc biên độ dao động. Sự dao động do nhiệt của một tấm chữ nhật với một mặt cố định và ba mặt tự do được nghiên cứu bởi Jadeja và Loo (1974). Các giải pháp cho trường hợp bề mặt bị làm nóng vẫn sử dụng quy trình Galerkin. G.N Praven và J.N. Reddy (1997) đã kiểm tra các chức năng của trạng thái đàn hồi nhiệt và đàn hồi nhiệt động lực học của tấm khi chịu nhiệt có xét đến sự biến thiên theo độ dày.

R.C. Batra và J.Jin (2004) đã sử dụng lý thuyết biến dạng bậc nhất kết hợp với phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) để nghiên cứu dao động tự do của tấm chữ nhật làm bằng vật liệu chức năng bất đẳng hướng và đã xác định được giá trị cực đại của 1 trong 5 tần số dao động riêng đầu tiên. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở tấm làm bằng hỗn hợp graphite/epoxy với cốt sợi ngắn phân bố đơn phương [7].

Chun-Sheng Chen (2004) đã nghiên cứu bài toán dao động phi tuyến của tấm bị biến dạng cắt làm bằng vật liệu chức năng (tổ hợp gốm và thép) sử dụng phương pháp Galerkin và phương pháp Runge-Kutta, kết quả xác định được sự thay đổi tần số dao động phi tuyến theo mật độ vật liệu và ảnh hưởng của ứng suất ban đầu tới tần số dao động [8].

Gan-Yun Huang, Yue-Sheng Wang, Dietmar Gross (2003) đã sử dụng mô hình đa lớp để phân tích cơ chế rạn nứt của các lớp phủ bằng vật liệu chức năng bị biến dạng phẳng. Theo mô hình này, lớp phủ bằng vật liệu chức năng được chia thành vài lớp nhỏ mà trong phạm vi mỗi lớp đó môđun trượt là một hàm tuyến tính theo độ dày, hệ số nở hông được giả thiết là hằng số. Đây là một mô hình tính toán mới được cho là hiệu quả hơn các mô hình trước đó [9].

Claudia Chinosi, Lucia Della Croce (2006) đã nghiên cứu tấm chữ nhật làm bằng vật liệu chức năng sử dụng phép tính xấp xỉ với phần tử hữu hạn không tương thích. Hai thành phần vật liệu cấu thành phân bố theo độ dày tấm với quy luật hàm mũ. Sử dụng phần tử hữu hạn dạng tự do không liên tục Galerkin để phân tích tấm vật liệu chức năng theo mô hình Reisser-Mindlin chịu tải trọng cơ-nhiệt theo điều kiện bài toán tĩnh [10].

C.T.Loy, K.Y. Lam, J.N. Reddy (1998) đã nghiên cứu bài toán dao động của vỏ trụ làm bằng vật liệu chức năng tổ hợp từ thép không gỉ và Ni. Với mục tiêu xác định tần số dao động riêng, các ảnh hưởng của tỷ lệ các thành phần hợp thành đến tần số dao động. Tỷ lệ các thành

---

phần hợp thành được phân bố theo quy luật hàm mũ. Nghiên cứu được thực hiện với quan hệ chuyển vị - biến dạng theo lý thuyết vỏ của Love và phương trình trị riêng theo phương pháp Rayleigh-Ritz, tuy nhiên nghiên cứu này chưa mở rộng cho các loại vật liệu khác có tính năng tương đương [11].

Kể từ khi được nghiên cứu chế tạo đến nay, đã có một số nghiên cứu chuyên sâu về loại vật liệu này cũng như các ứng dụng của nó. Trên thế giới, nghiên cứu về vật liệu chức năng hiện nay chia thành 4 nhánh chủ đạo [12]:

(1) Phân tích ứng suất nhiệt và các ứng dụng. Với mục tiêu là giảm ứng suất nhiệt. Sử dụng mô hình đàn nhiệt của von Kármán.

(2) Các mô hình cơ học tính toán ổn định cho các ứng dụng cho tấm, vỏ làm bằng vật liệu chức năng. Phương pháp giải chính xác là sử dụng mô hình đàn hồi 3 chiều hoặc 2 chiều với khái niệm “tấm tương đương”. Sử dụng mô hình PTHH dựa trên lý thuyết biến dạng cắt bậc 3 và phương pháp giải của Navier.

(3) Các mô hình tính toán cơ học rạn nứt. Sử dụng phối hợp mô hình PTHH và mô hình phá huỷ đẳng hướng của vật liệu chức năng.

(4) Dao động và các ứng dụng kiểm soát dao động. Sự biến đổi nhiệt độ được giả thiết là chỉ xảy ra theo phương độ dày tấm. Theo hướng này, bài toán phân tích động của vỏ áp điện cũng đã bắt đầu được nghiên cứu. Mô hình tính toán thường dùng là mô hình phân tử tự do Galerkin.

Như vậy, nghiên cứu tính toán các bài toán về vật liệu chức năng đòi hỏi các công cụ tính toán hỗ trợ mạnh, liên quan đến nhiều lĩnh vực như Khoa học vật liệu, Cơ học, Động lực học và Tính toán số...

#### **4.3 Tiềm năng ứng dụng vật liệu chức năng ở Việt Nam**

Trong xu thế hội nhập, bên cạnh các thành tựu đã đạt được về vật liệu composite truyền thống, ngành Cơ học vật liệu và ứng dụng vật liệu mới ở nước ta cần có những nghiên cứu chuyên sâu để tiếp cận công nghệ mới trên thế giới, từ đó phát triển các đề tài nghiên cứu ứng dụng và chế tạo các loại vật liệu mới, vật liệu công nghệ cao trong điều kiện Việt Nam.

Các kết cấu dạng tấm, vỏ là các kết cấu được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp hàng không (khung, dầm máy bay, vỏ cabin, khoang hành lý, ống tuốcbin...); công nghiệp tàu thủy (thân, vỏ tàu ...); công nghiệp xây dựng (xà, dầm, khung cửa, vòm che, mái che, ...); các hệ thống cơ nhiệt (xylanh, ống xả, đường ống công suất...); các kết cấu chịu mài mòn (băng tải, ổ trục...). Đây là các lĩnh vực mà công nghiệp nước ta đã có những thành tựu đáng khích lệ đặc biệt là các nghiên cứu tính toán nền tảng. Trong nhiều ngành, chúng ta đã tiếp cận được với công nghệ tiên tiến của thế giới nên việc nghiên cứu, phát triển ứng dụng vật liệu chức năng ở Việt Nam chúng ta có một tiềm năng ứng dụng to lớn trong nhiều ngành, nhiều lĩnh vực.

#### **5. Kết luận**

Đất nước ta đang từng bước hội nhập nền kinh tế thế giới. Hội nhập là đồng nghĩa với thời cơ và cả những thách thức. Sự thách thức đó là phát triển trình độ khoa học kỹ thuật. Là ngành cơ bản của rất nhiều ngành kỹ thuật công nghệ như: cơ khí chế tạo, xây dựng, giao thông, khai thác tài nguyên... ngành Cơ học vật liệu và ứng dụng vật liệu mới đã đóng một vai trò cực kỳ quan trọng để phát triển chúng. Với vai trò là một loại vật liệu composite mới, vật liệu chức năng - FGMS có tiềm năng to lớn trong nhiều lĩnh vực, do đó các nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm chuyên sâu về vật liệu này là cần thiết ở nước ta hiện nay.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Trần Ích Thịnh, “*Vật liệu Composite*”, NXB Giáo dục, 1994.
- [2]. William G. Cooley, *Application of FGMS in Aircraft structures* - AFIT/GAE/ENY/05-M04, Master Thesis, Air force Institute of Technology, Ohio, USA 2005.
- [3]. A.M. Zenkour, *A comprehensive analysis of functionally graded sandwich plate*, Department of Mathematics, Faculty of Education, Tanta University, Egypt, 2005.
- [4]. U.S. Department of Energy, *Industrial Technologies Program*, 2007
- [5]. Claudia Chinosi, Lucia Della Croce, *Approximation of functionally graded plates with non-conforming finite elements*, Journal of Computational and Applied Mathematics, 2006.

- 
- [6]. G.N Praven and J.N. Reddy, *Nonlinear transient thermoelastic analysis of Functionally Graded Ceramic-Metal Plates*, Computational Mechanics Laboratory, Texas A&M University, 1997.
- [7]. R.C Batra, J.Jin, *Natural frequencies of functionally graded anisotropic rectangular plate*, Journal of Sound and Vibration 282 (2005) 509-516.
- [8]. Chun-Sheng Chen, *Nonlinear Vibration of shear deformable functionally grade plate*, Composite Structures 68 (2005) 295-302.
- [9]. Gan-Yun Huang, Yue-Sheng Wang, Dietmar Gross, *Fracture analysis of functionally graded coatings: plane deformation*, European Journal of Mechanics A/Solids 22 (2003) 535-544.
- [10]. Claudia Chinosi, Lucia Della Croce, *Approximation of functionally graded plates with non-conforming finite elements*, Journal of computational and Applied Mathematics 210 (2007) 106 -115.
- [11]. C.T. Loy, K. Y. Lam, J.N. Reddy, *Vibration of functionally graded cylindrical shells*, International Journal of Mechanical Sciences 41 (1999) 309-324.

---

**Người phản biện: PGS.TS. Nguyễn Văn Ngọc**