

## **SỬ DỤNG ANSYS TRONG MÔI TRƯỜNG INVENTOR ĐỂ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CHI TIẾT MÁY**

**Using ANSYS in autodesk Inventor for design details machine**

Đỗ Hữu Quyết

*Khoa Cơ Điện, Trường Đại học Nông nghiệp Hà Nội*

### SUMMARY

**Inventor software - a product of Autodesk company that can build 3D objects conveniently, visually and intelligently, has been broadly used in mechanical designing as well as in other technical fields. Among product lines of ANSYS Technology, ANSYS/Design Space is one neat tool that allows to fast calculate in some design drawing environments using computer. ANSYS in Inventor environment combines advantages of Inventor and DesignSpace to create a highly convenient tool for designing parts of machines. Beside designing ability for general parts of machine using solved programs, ANSYS in Inventor environment can also design the parts with any shapes. This article introduces some computing results for durability, hardness and determination of free vibration specifications for machine parts with any shapes using ANSYS/DesignSpace software in Autodesk Inventor Professional 11 environment.**

**Key words: ANSYS, deformation, inventor, modal analysis, stress.**

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Phương pháp phần tử hữu hạn đã được biết đến từ lâu, nhưng chỉ trong những năm gần đây, từ khi máy vi tính được sử dụng phổ biến, thì phương pháp này mới thực sự được ứng dụng rộng rãi.

Dựa trên thuật toán của phương pháp phần tử hữu hạn, nhiều phần mềm mô phỏng số đã ra đời, cho phép giải quyết hầu hết các bài toán thường gặp trong các ngành kỹ thuật. ANSYS, sản phẩm của hãng ANSYS Technology là một ví dụ điển hình về những phần mềm như vậy. Ngoài sản phẩm tổng quát nhất là ANSYS/Multiphysics được sử dụng rất rộng rãi trong hầu hết các lĩnh vực kỹ thuật, còn có nhiều dòng sản phẩm chuyên dùng cho các lĩnh vực khác nhau (Nguyễn Việt Hùng, Nguyễn Trọng Giảng, 2003).

ANSYS/Mechanical cho phép độc lập giải quyết trọn vẹn các bài toán trong lĩnh vực kết cấu và nhiệt với độ chính xác tùy ý, nhưng việc sử dụng nó trong một số trường hợp khá phức tạp, ngoài ra thao tác xây dựng các vật thể và khả năng mô phỏng chuyên động không được ưu tiên nên các chức năng này của ANSYS không mạnh. Dòng sản phẩm ANSYS/DesignSpace là một

công cụ gọn, nhẹ cho phép tính toán nhanh trong nhiều môi trường thiết kế có sự trợ giúp của máy vi tính (CAD).

Phần mềm Inventor là một sản phẩm của hãng Autodesk, có khả năng xây dựng các vật thể 3D tiện lợi, trực quan và thông minh, được sử dụng rộng rãi trong thiết kế cơ khí và các lĩnh vực kỹ thuật khác (Phan Đình Huấn, Tôn Thất Tài, 2002).

Sự tích hợp ANSYS/DesignSpace trong môi trường Inventor khai thác được các thế mạnh của Inventor và ANSYS đã tạo cho người thiết kế một công cụ rất thuận tiện trong tính toán thiết kế các chi tiết máy. Bên cạnh khả năng tính toán thiết kế các chi tiết máy có công dụng chung dưới dạng các chương trình giải sẵn (An Hiệp, Trần Vĩnh Hưng, Nguyễn Văn Thiệp, 2006; Autodesk Inventor Professional 11- Engineers Handbook), ANSYS trong môi trường Inventor còn có khả năng tính toán thiết kế các chi tiết máy có hình dạng bất kỳ.

Bài báo này giới thiệu một số kết quả tính toán ứng suất, biến dạng và xác định các đặc trưng dao động tự do của các chi tiết máy có hình dạng phức tạp trên cơ sở khai thác các tính năng của phần mềm ANSYS/DesignSpace trong môi trường Autodesk Inventor Professional 11.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

**Vật liệu:** Máy vi tính với phần mềm Autodesk Inventor Professional 11 có chức năng Stress Analysis.

**Phương pháp nghiên cứu:** Khai thác sử dụng phần mềm ANSYS/ DesignSpace trong môi trường Inventor thông qua chức năng Stress Analysis để tính toán biến dạng, ứng suất và phân tích dao động riêng của một số chi tiết máy điển hình.

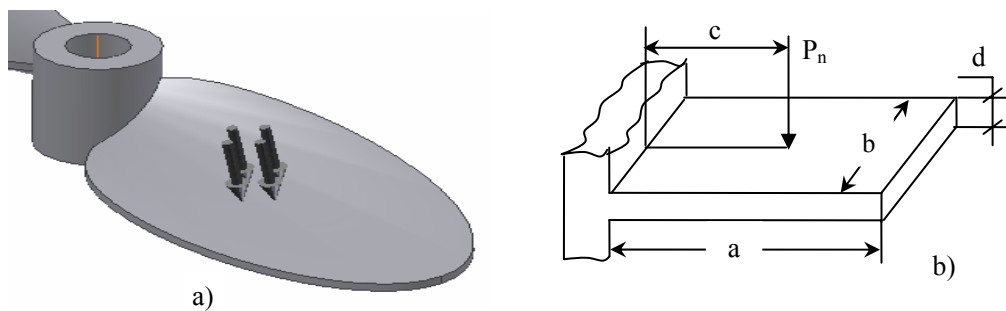
## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Xác định ứng suất và biến dạng trong chi tiết máy

Sử dụng ANSYS trong môi trường Inventor cho phép nhận được trường ứng suất và biến dạng trong chi tiết dưới tác dụng của các loại tải trọng khác nhau (lực tập trung, lực phân bố theo diện tích, mô men tập trung, lực thể tích, v.v.). Sau khi khai báo vật liệu chế tạo chi tiết máy, ANSYS sẽ tự động cập nhật cơ tính của vật liệu và xác định ứng suất cho phép. Việc chia lưới được thực hiện tự động nhưng độ mịn của ô lưới

có thể điều chỉnh được, qua đó có thể nhận được kết quả với các cấp độ chính xác khác nhau. Có thể nhận được trường ứng suất trong chi tiết và trị số ứng suất tương đương cực đại. Cũng có thể nhận được thông tin đầy đủ, bao gồm các thông tin về kích thước, khối lượng chi tiết máy, tải trọng tác dụng lên chi tiết máy, phản lực liên kết phát sinh tại ngàm dưới tác dụng của tải trọng tác dụng, trường ứng suất và biến dạng của chi tiết, ứng suất cho phép và hệ số an toàn của chi tiết. Trường ứng suất và biến dạng trong chi tiết máy có thể được biểu thị dưới dạng ảnh với trị số thể hiện qua bảng chỉ thị màu. Ngoài ra còn có thể nhận được phim camera minh họa quá trình biến dạng và phát sinh ứng suất trong chi tiết từ khi tải trọng bằng không đến khi tải trọng đạt cực đại.

Sử dụng ANSYS trong môi trường Inventor rất thuận tiện khi tính toán các chi tiết máy có hình dạng bất kỳ, khi mà việc tính toán tải trọng và quy đổi các đặc trưng hình học của mặt cắt ngang để áp dụng các công thức thông dụng gặp nhiều khó khăn. Trên hình 1, a mô tả kết cấu cánh khuấy kiểu chân vịt, thường dùng trong các máy khuấy trộn thực phẩm có trục thẳng đứng (A. Я. Соколов, 1986).....



**Hình 1. Trục khuấy có cánh khuấy kiểu chân vịt thực tế (a) và mô hình tính toán (b)**

Cánh khuấy làm bằng thép Inox, dày 2,2 mm, hình chiếu của biên dạng trên mặt phẳng vuông góc với trục có dạng elíp với kích thước hai trục 160 x 70 (mm). Khoảng cách từ tâm elíp đến tâm trục là 85 mm. Bề mặt cánh khuấy tại tâm elíp của cánh nghiêng một góc  $32^{\circ}$  so với mặt phẳng vuông góc với trục. Áp suất của sản phẩm khuấy trên mặt làm việc (mặt trên) của cánh xem như phân bố đều với cường độ  $0,01 \text{ N/mm}^2$ .

Với cánh khuấy đã nêu, để tính toán ứng suất và biến dạng theo các công thức của sức bền vật liệu có thể đưa về bài toán một dầm công xôn chịu uốn ngang phẳng. Để đơn giản bài toán, ta giả thiết: Bề mặt cánh khuấy là phẳng và nghiêng với mặt phẳng vuông góc với trục một góc  $32^{\circ}$ ; áp lực trên mỗi cánh tập trung tại tâm cánh, xem như trùng với tâm của elíp; cánh khuấy được ngàm vào trục theo tiết diện phẳng hình chữ nhật có kích thước bằng kích thước khai triển của mặt

ngàm thực tế. Khi này, mô hình tính toán của cánh khuấy được thể hiện trên hình 1,b.

Với diện tích bề mặt cánh khuấy  $F = \pi \cdot a \cdot b \cdot \cos 32^\circ = 9697 \text{ mm}^2$ , áp suất phân bố đều trên mặt cánh khuấy  $0,01 \text{ N/mm}^2$ , ta xác định được áp lực đặt tại tâm elip  $P_n = 96,97 \text{ N}$ . Với vật liệu cánh khuấy là thép Inox, ta xác định được mô đun đàn hồi  $E = 193000 \text{ N/mm}^2$ .

Từ các trị số trên, theo sơ đồ hình 1,b, với  $a = 142,5 \text{ mm}$ ,  $b = 37 \text{ mm}$ ,  $c = 67,5 \text{ mm}$ ,  $d = 2,2 \text{ mm}$ , ta xác định được ứng suất uốn tại tiết diện ngàm và biến dạng lớn nhất tại đầu tự do theo phương tác dụng của tải trọng của cánh theo công thức của sức bền vật liệu:

$$\sigma_{\max} = M_u / W_u = 219,3 \text{ N/mm}^2$$

$$y_{\max} = 4,2 \text{ mm}$$

Cũng bài toán trên, nếu áp dụng ANSYS trong Inventor, việc tính toán sẽ được thực hiện rất nhanh chóng sau khi xây dựng xong mô hình không gian 3 chiều của cánh khuấy.

Trong bảng trích xuất kết quả phân tích ứng suất, sau các thông tin và giới thiệu chung là các thông tin cụ thể về các kích thước biên dạng, khối lượng, thể tích và cách chia lưới trên chi tiết thể hiện qua số nút và số phần tử (Bảng 1); vật liệu, mô đun đàn hồi, hệ số Poát xông, khối lượng riêng và ứng suất cho phép của chi tiết (Bảng 2); tải trọng đặt lên chi tiết và trạng thái liên kết của chi tiết (Bảng 3); phản lực liên kết tại ngàm (Bảng 4) và kết quả phân tích (Bảng 5).

**Bảng 1. Kích thước và cách chia lưới**

Cánh khuấy chạn vít_Tinh suc ben 4.ipt Statistics	
Bounding Box Dimensions	319.7 mm 319.5 mm 40. mm
Part Mass	0.6251 kg
Part Volume	7.736e+004 mm <sup>3</sup>
Mesh Relevance Setting	67
Nodes	112444
Elements	77787

**Bảng 2. Vật liệu và cơ tính cánh khuấy**

Stainless Steel	
Young's Modulus	1.93e+005 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Mass Density	8.08e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Tensile Yield Strength	250. MPa
Tensile Ultimate Strength	0. MPa

**Bảng 3. Tải trọng và trạng thái liên kết của chi tiết**

Load and Constraint Definitions			
Name	Type	Magnitude	Vector
Pressure 1	Surface Pressure	1.e-002 MPa	N/A
Pressure 2	Surface Pressure	1.e-002 MPa	N/A
Fixed Constraint 1	Surface Fixed Constraint	0. mm	0. mm 0. mm

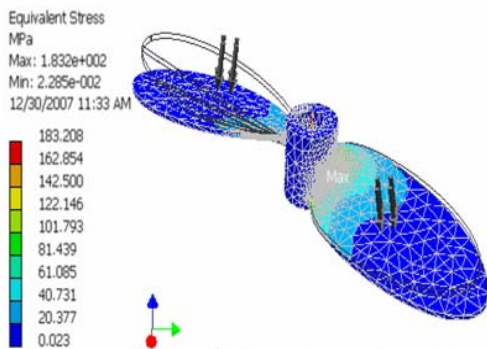
**Bảng 4. Phản lực liên kết tại ngàm**

Constraint Reactions				
Name	Force	Vector	Moment	Moment Vector
Fixed Constraint 1	165. N	-9.479e-005 N -2.303e-004 N 165. N	2629 N-mm	-81.16 N-mm -76.35 N-mm -2627 N-mm

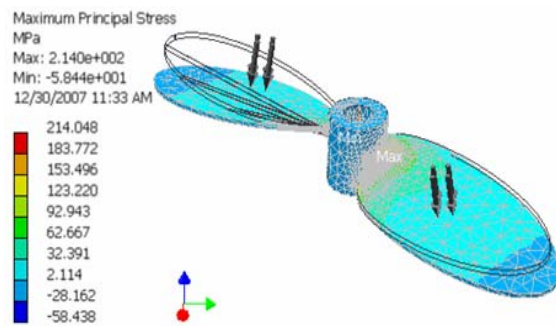
**Bảng 5. Kết quả phân tích ứng suất**

Structural Results		
Name	Minimum	Maximum
Equivalent Stress	2.285e-002 MPa	183.2 MPa
Maximum Principal Stress	-58.44 MPa	214. MPa
Minimum Principal Stress	-221.2 MPa	55.79 MPa
Deformation	0. mm	1.57 mm
Safety Factor	1.365	N/A

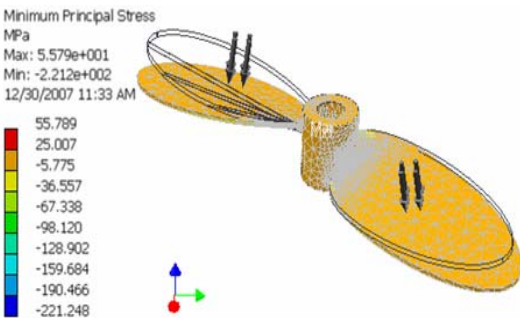
Ngoài ra trong bảng trích xuất kết quả còn có các hình ảnh minh họa về trường ứng suất trong chi tiết (hình 2, 3, 4), trường biến dạng (hình 5) và hệ số an toàn (hình 6).



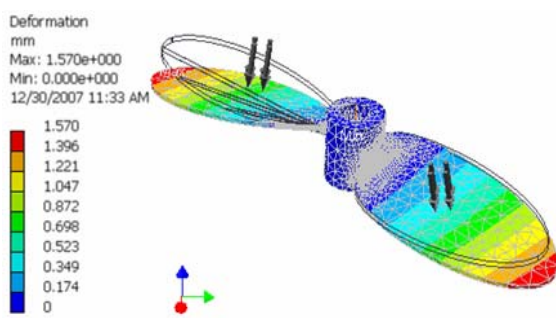
**Hình 2. Trường ứng suất tương đương trong chi tiết**



**Hình 3. Trường ứng suất kéo trong cánh khuấy**

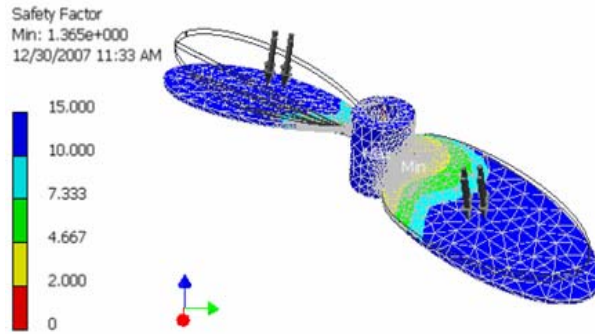


**Hình 4. Trường ứng suất nén trong cánh khuấy**



**Hình 5. Trường biến dạng của cánh khuấy**

**Hình 6. Trường hệ số an toàn của cánh khuấy**



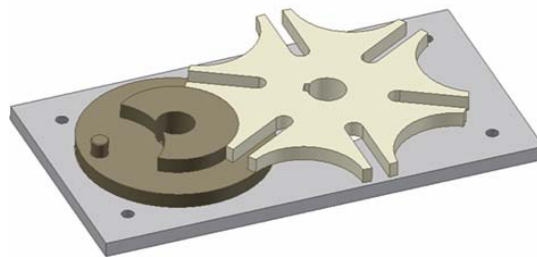
H.6. Trường hệ số an toàn của cánh khuấy

So sánh hai phương pháp tính toán trên, có thể thấy kết quả tính theo ANSYS chính xác, nhanh chóng và thuận lợi hơn nhiều. Trong tính toán theo ANSYS, lưới chia được thực hiện tự động trên cánh khuấy thực với độ mịn cao tại vị trí vùng ngàm. Trong kết quả tính theo mô hình đơn giản ta đã coi mặt cánh khuấy là mặt phẳng trong khi bề mặt thực của cánh khuấy là mặt xoắn ốc có góc nghiêng đối với trục cánh khuấy thay đổi; tiết diện ngàm được xem là tiết diện phẳng hình chữ nhật, trong khi thực tế nó là một mặt cong. Sai khác giữa kết quả tính ứng suất uốn tại tiết diện ngàm theo mô hình đơn giản so với kết quả tính ứng suất tương đương theo ANSYS là 20,3%. Sai khác về biến dạng giữa tính theo Sức bền vật liệu trên mô hình đơn giản hóa và tính theo ANSYS lên tới 63%. Sự sai khác lớn về biến dạng giữa hai kết quả là do khi tính toán theo Sức bền vật liệu, ta đã xem mặt cánh khuấy là mặt phẳng và mặt ngàm giữa cánh và trục là mặt phẳng hình chữ nhật, trong khi thực tế mặt cánh là mặt cong và mặt ngàm giữa cánh và trục là mặt cong, trong khi mặt cánh cong và mặt ngàm cong có khả năng chống biến dạng lớn hơn đáng kể so với mặt phẳng. Các cố gắng xây dựng mô hình sát thực hơn so với mô

hình trên hình tính đã chọn trên hình 1,b sẽ không khả thi do tăng tính phức tạp khi xác định các đại lượng cần thiết hoặc không có công thức sẵn có (trong chương trình sức bền vật liệu, lý thuyết đàn hồi,...) để áp dụng.

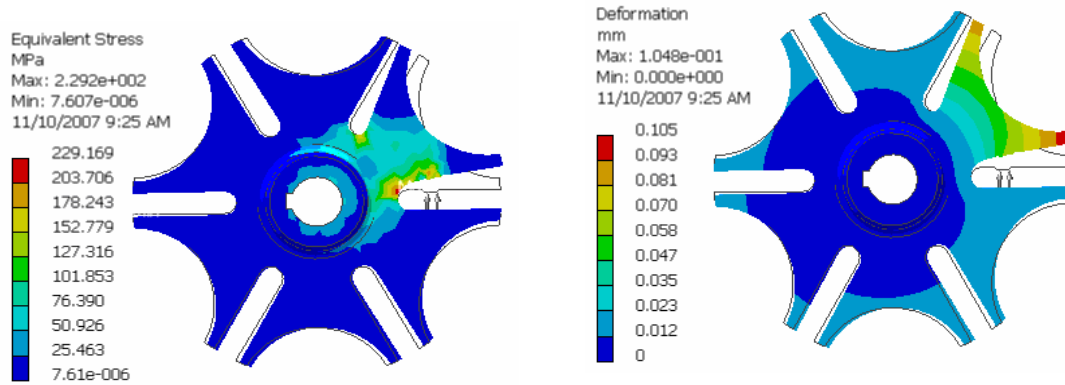
Sử dụng ANSYS trong Inventor cũng rất thuận tiện khi tính toán các chi tiết mà trong quá trình làm việc, tải trọng tác dụng lên chi tiết thay đổi về trị số và vị trí tác động. Trên hình 7 thể hiện kết cấu của cơ cấu Man 6 rãnh hướng tâm, được sử dụng để biến chuyển động quay đều của tay quay thành chuyển động quay dừng gián đoạn của chạc Man, dùng trên máy ép viên phân N,P,K.

Trong pha truyền động, chốt Man trượt dọc theo rãnh trên chạc Man và gạt cho chạc Man quay. Lực do chốt Man tác động lên chạc Man là hàm theo góc quay của tay quay và của mô men quán tính của phần bị dẫn quy đổi về trên trục chạc Man. Bằng cách kiểm tra bền tại một số điểm dọc theo rãnh trượt của chốt Man, ta sẽ đánh giá được độ bền của chạc Man. Sử dụng ANSYS trong môi trường Inventor, ta nhận được kết quả nhanh chóng hơn nhiều so với cách sử dụng các phương pháp tính toán truyền thống.



Hình 7. Cơ cấu Man 6 rãnh hướng tâm

Trên hình 8 chỉ ra trường ứng suất và biến dạng của chạc Man tại vị trí nguy hiểm nhất.



**Hình 8. Kết quả tính toán sức bền chạc Man**

Sử dụng ANSYS trong môi trường Inventor đặc biệt ưu việt khi tính toán các khung siêu tĩnh có liên kết ngàm. Theo các phương pháp truyền thống, khi tính toán các khung siêu tĩnh, người ta thường dùng phương pháp lực hoặc phương pháp chuyển vị. Khi cần xác định ứng suất và biến dạng của tất cả các phần tử của khung phức tạp có nhiều phần tử, số phương trình sẽ rất lớn và việc giải chúng đòi hỏi nhiều thời gian và công sức.

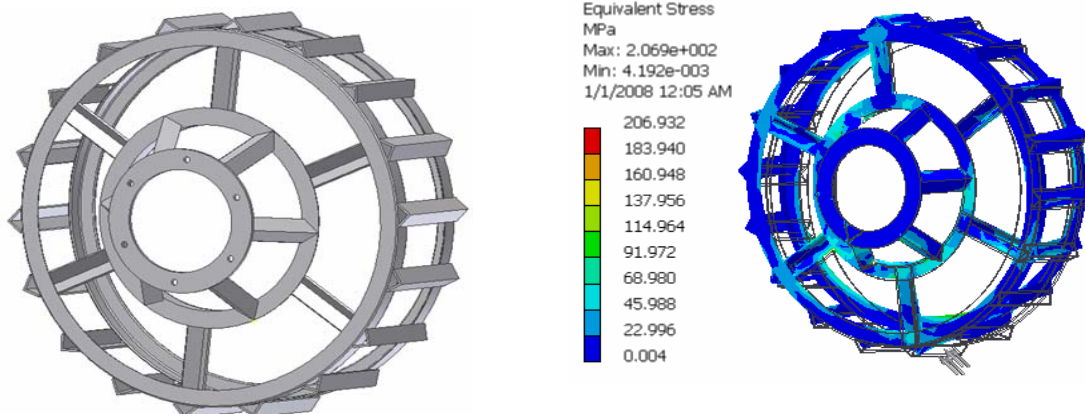
pnan nội lực trên các thanh ta phải giải hệ 540 phương trình. Cho dù có thể sử dụng một số phương pháp để giảm nhẹ khối lượng tính toán, kể cả sử dụng kỹ thuật lập trình hoặc sử dụng các phần mềm chuyên dụng nhưng rõ ràng để giải được bài toán này vẫn cần rất nhiều thời gian và công sức, đặc biệt là chi phí để lập và kiểm tra tính đúng đắn của các phương trình.

Xét bài toán xác định ứng suất và biến dạng của bánh lồng trên hình vẽ (Hình 9), trong trường hợp tải trọng đặt lên 1, 2 hoặc 3 mẫu bám.

Trong khi đó, nếu sử dụng ANSYS trong Inventor để giải, ta nhanh chóng nhận được kết quả với độ chính xác và tính trực quan cao hơn rất nhiều (thực tế, để giải bài toán trọn vẹn cả 3 phương án, kể cả phần vẽ xây dựng mô hình 3D của bánh lồng trên máy vi tính, thời gian chỉ mất khoảng 2 tiếng đồng hồ).

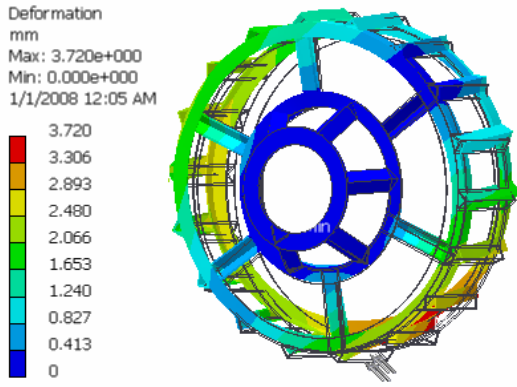
Trong trường hợp đơn giản nhất, nếu xem bánh lồng này như một dàn không gian với 90 đoạn thanh nối khớp với nhau tại 54 nút, mỗi thanh chỉ có duy nhất một thành phần lực dọc theo trục thanh thì để xác định lực dọc trên các thanh đã phải giải hệ 90 phương trình. Thực tế trên mỗi đoạn thanh về nguyên tắc có 6 thành

Các kết quả tính toán bánh lồng khi tải trọng tác dụng lên một mẫu bám thể hiện qua trường ứng suất và trường biến dạng trong tất cả các phần tử của bánh được chỉ ra trên Hình 10.



H.9. Bánh lồng phụ 18 mẫu bám

phần nội lực, để xác định được tất cả các thành

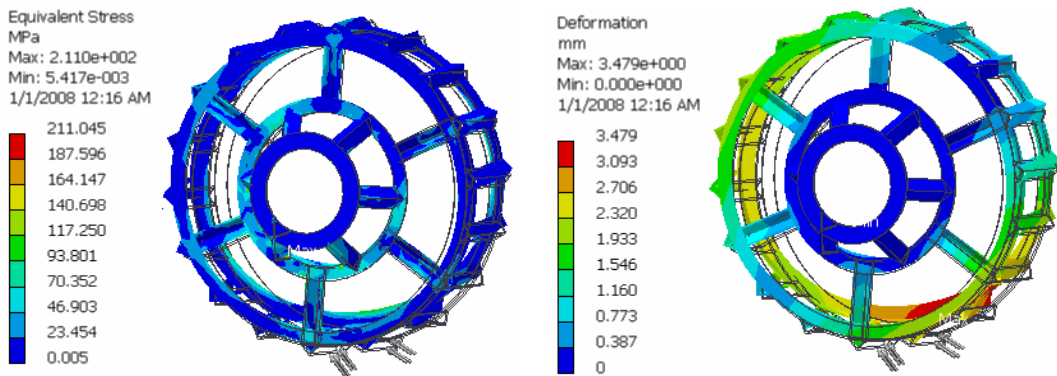


Khi thay đổi điều kiện tính toán, chỉ cần khai báo lại các thông số vào, chương trình sẽ cho kết quả tương ứng với các thông số đầu vào mới.

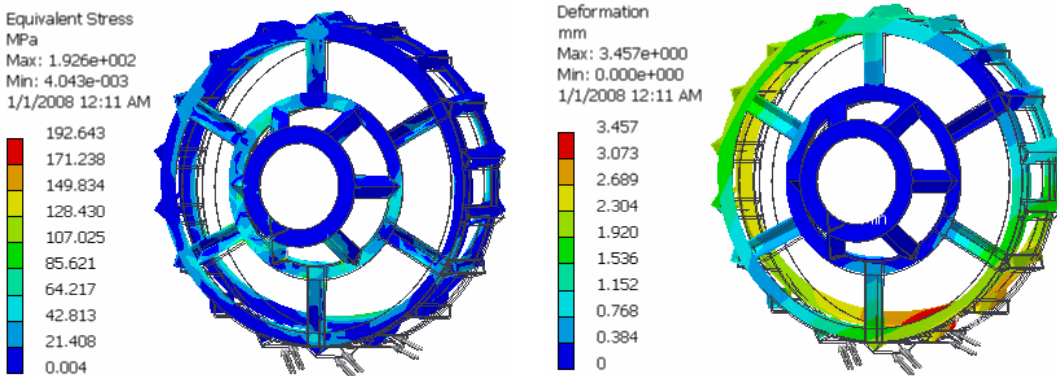
Nhờ khả năng tính toán nhanh và chính xác, người thiết kế sẽ cực kỳ thuận lợi trong việc lựa chọn phương án kết cấu với các điều kiện đầu khác nhau.

Kết quả tính toán ứng suất và biến dạng của bánh lồng trong trường hợp lực đặt vào 2 và 3 mấu bám được chỉ ra trên Hình 11 và Hình 12.

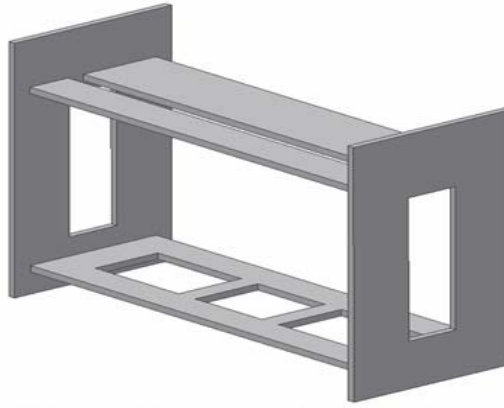
**Hình 10. Trường ứng suất, biến dạng của bánh lồng khi tải đặt lên 1 mấu bám**



**Hình 11. Trường ứng suất và biến dạng của bánh lồng khi làm việc với 2 mấu bám**



**Hình 12. Trường ứng suất và biến dạng của bánh lồng khi làm việc với 3 mấu bám**



Hình 13. Khung máy dệt đơn giản

### 3.2. Xác định tần số riêng và dạng dao động riêng của chi tiết máy

Việc xác định tần số riêng và dạng dao động riêng rất quan trọng khi nghiên cứu động lực học máy. Dao động tự do là sự xếp chồng các dao động riêng khác nhau của hệ, trong khi dao động riêng được đặc trưng bởi tần số dao động riêng và dạng dao động riêng. Trong thực tế, khi tính toán động lực học máy người ta thường chỉ quan tâm đến tần số dao động riêng thấp nhất hoặc một vài tần số dao động riêng đầu tiên.

Xét bài toán xác định tần số riêng và dạng dao động riêng của khung máy dệt, có mô hình đơn giản hóa thể hiện trên hình 13.

Việc tính toán xác định tần số dao động riêng của chi tiết khá phức tạp, gắn liền với việc giải một hệ phương trình tuyến tính thuần nhất (Franz Holzweeibig, Hans Dresig (2001)).

Hiện nay với sự phát triển của công nghệ tin học, nhiều phương pháp số có hiệu quả giải các bài toán trị riêng đã được ứng dụng.

Các phương pháp này cho phép nhận được kết quả nhanh chóng nhờ đây nhanh tốc độ tính toán khi giải các hệ phương trình. Tuy nhiên, khi này trở ngại đối với việc xác định tần số riêng và dạng dao động riêng lại là việc chọn mô hình tính sao cho phù hợp với kết cấu thực của chi tiết máy hay của hệ.

Người thiết kế phải căn cứ vào kết cấu thực của máy để xây dựng mô hình tính sao cho có thể áp dụng được các mô hình tính toán chuẩn với sai số nhỏ nhất có thể (Franz Holzweeibig, Hans Dresig (2001)).

Cũng với bài toán đã nêu, nếu sử dụng ANSYS trong môi trường Inventor thì việc chọn mô hình tính sẽ không cần phải quan tâm vì chương trình sẽ tự động tính toán ngay trên chi tiết vừa được thiết kế với hình dạng, kích thước thực và vật liệu chế tạo dự kiến. Người thiết kế cũng có thể tính toán trên mô hình đơn giản hóa, đó là mô hình chi tiết máy cần tính toán nhưng cho phép bỏ qua các tiểu tiết như lỗ ren, ụ lồi, v.v...

Trong trường hợp này, xét về các đặc trưng dao động, sai khác giữa mô hình thực và mô hình tính toán là không đáng kể nên kết quả thu được hầu như trùng nhau.

Nói cách khác, người thiết kế có thể tính toán xác định tần số dao động riêng và dạng dao động của các chi tiết rất chính xác, nhanh chóng và trực quan với số dao động riêng và dạng dao động riêng đầu tiên tùy chọn.

Về các kết quả, có thể nhận được các thông tin về một số thông số chính (kích thước biên dạng, khối lượng, thể tích) của khung máy và cách thức chia lưới thể hiện qua số nút và số phần tử (Bảng 6); các tính chất cơ học của vật liệu khung (Bảng 7) và bảng thống kê các tần số dao động riêng (Bảng 8).

**Bảng 6. Một số thông số chính của khung và cách chia lưới**



Modal Analysis.ipt Statistics

Bounding Box Dimensions	500. mm 800. mm 1240 mm
Part Mass	226.2 kg
Part Volume	2.878e+007 mm <sup>3</sup>
Mesh Relevance Setting	0
Nodes	25287
Elements	12041

Bảng 7. Một số thông số cơ học của vật liệu khung máy

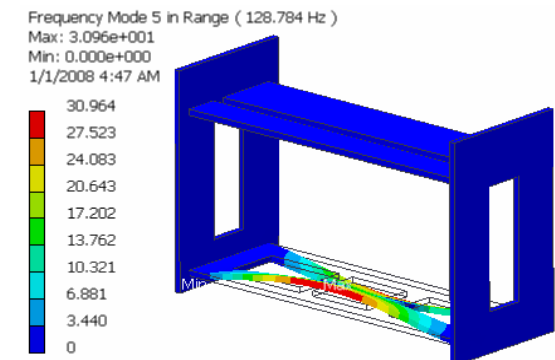
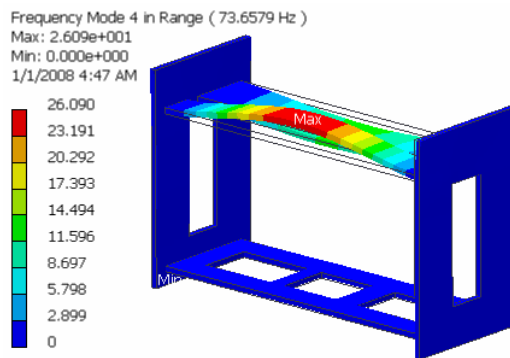
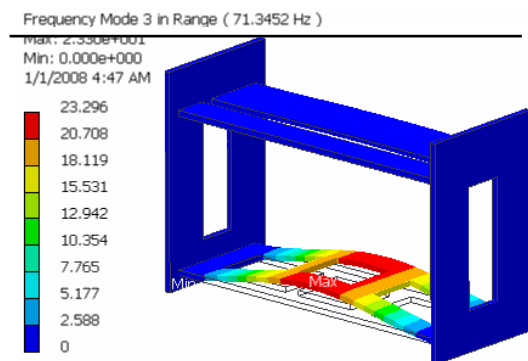
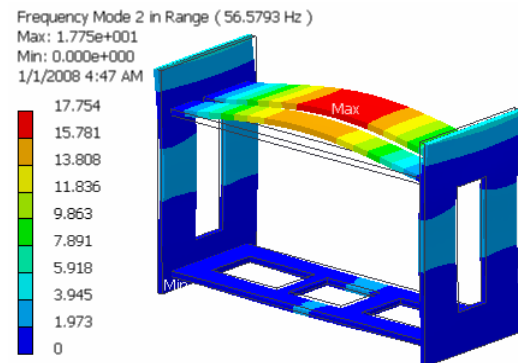
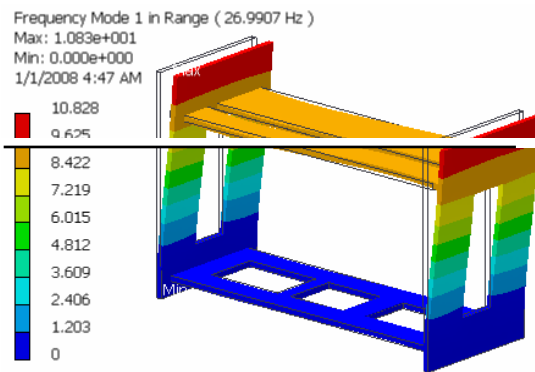
Young's Modulus	2.2e+005 MPa
Poisson's Ratio	0.275
Mass Density	7.86e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Tensile Yield Strength	207. MPa
Tensile Ultimate Strength	345. MPa

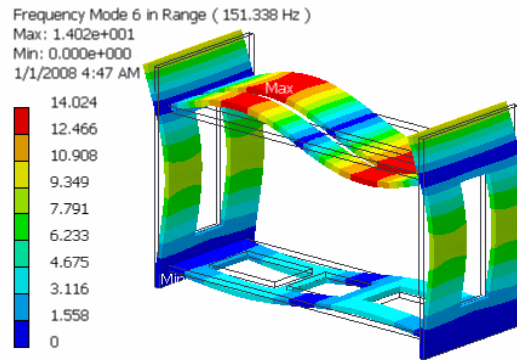
Bảng 8. Kết quả xác định các tần số dao động riêng đầu tiên

Frequency Results		
Name	Mode	Frequency
Frequency Mode 1 in Range	1	26.99 Hz
Frequency Mode 2 in Range	2	56.58 Hz
Frequency Mode 3 in Range	3	71.35 Hz
Frequency Mode 4 in Range	4	73.66 Hz
Frequency Mode 5 in Range	5	128.8 Hz
Frequency Mode 6 in Range	6	151.3 Hz

Trên hình 14 chỉ ra 6 tần số riêng và dạng dao động riêng đầu tiên của khung một máy dệt có kết cấu như trên hình 13, được ngâm bởi mặt đế với các kích thước biến dạng của khung D x R x C = 1240 x 500 x 800 (mm).

Bên cạnh các kết quả nêu trên, ta còn có thể nhận được phim mô tả dao động của khung máy với 5 mức tốc độ nhanh chậm tùy chọn.





**Hình 14. Sáu tần số dao động riêng và dạng dao động riêng đầu tiên của khung máy**

#### 4. KẾT LUẬN

Sự kết hợp giữa các ưu thế của Inventor và ANSYS/DesignSpace đã tạo ra một công cụ rất thuận tiện trong tính toán thiết kế các chi tiết máy. Sử dụng ANSYS trong môi trường Inventor cho phép nhanh chóng xác định ứng suất và biến dạng trong các chi tiết máy hình dạng bất kỳ có ít nhất một mặt ngầm cũng như xác định được tần số dao động riêng và dạng dao động riêng của chi tiết máy với độ chính xác và tính trực quan cao.

Tuy rất có hiệu quả trong nhiều trường hợp, nhưng phần mềm tính toán thiết kế ANSYS trong Inventor không phải là một công cụ vạn năng, có thể đáp ứng tất cả các nhu cầu vốn rất đa dạng của người thiết kế. Vì vậy, người thiết kế cần biết sử dụng những công cụ thích hợp cho từng bài toán cụ thể để đạt được mục tiêu đặt ra với hiệu quả cao nhất.

#### Lời cảm ơn

Tác giả bài báo xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới ông Tôn Thất Tài và VietCAD Company Ltd., nhà phân phối chính thức các sản phẩm của hãng Autodesk Inventor tại Việt Nam, đã cung cấp và cho phép tác giả được sử dụng, khai thác phần mềm Autodesk Inventor Professional 11 trong công việc nghiên cứu ứng dụng của mình.

#### 5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

An Hiệp, Trần Vĩnh Hưng, Nguyễn Văn Thiệp (2006). *Thiết kế Chi tiết máy trên máy tính*. NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.

Phan Đình Huân, Tôn Thất Tài (2002). *Xây dựng mô hình 3 chiều và bản vẽ kỹ thuật bằng Inventor*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

Nguyễn Việt Hùng, Nguyễn Trọng Giảng (2003). *ANSYS và mô phỏng số trong công nghiệp bằng phần tử hữu hạn*. NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

Autodesk Inventor Professional 11, Engineers Handbook.

Ачеркан Н. С. (1961). *Справочник Машиностроителя*. Том 1, Государственное научно-техническое Изд., Москва, Стр. 419-424.

Соколов А. Я. (1986). *Расчет и проектирование машин для пищевых производств*. Государственное научно-техническое Изд., Москва, Стр.285-289.

Franz Holzweeibig, Hans Dresig (2001). *Giáo trình động lực học máy*. Vũ Liêm Chính, Phan Nguyên Di dịch, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, trang 352-364.