

MÔ PHỎNG PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN KHUNG VỎ Ô TÔ KHÁCH KHI LẬT NGANG

ANALYSIS OF THE STRENGTH OF THE BUS BODY IN ROLLOVER BY SIMULATION

Nguyễn Thanh Quang^{1,*}, Phạm Việt Thành¹, Lê Văn Anh¹,
Lê Hồng Quân¹, Dương Thị Thanh Thùy²

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả mô phỏng phân tích độ bền khung vỏ ô tô khách khi lật ngang. Phương pháp nghiên cứu theo tiêu chuẩn châu Âu AIS 031/ECE-R66. Công cụ phần mềm Ansys Worrkbench mô phỏng số được sử dụng trong nghiên cứu.

Kết quả đã kiểm tra sự biến dạng thân vỏ khi lật ngang vuông góc. Mức độ biến dạng khung vỏ xe được xác định bởi các thông số khoảng cách từ trọng tâm xe đến đường trục dọc của xe, giá trị chuyển vị, biến dạng tương đương, ứng suất và gia tốc va chạm. Ứng suất biến dạng được so sánh theo tiêu chí ứng suất cho phép của vật liệu làm thân xe.

Từ khóa: Thân vỏ xe khách, lật ngang, tiêu chuẩn AIS 031/ECE-R66

ABSTRACT

The paper presents simulation results analyzing the durability of Bus in rollover. Research method according to European standard AIS 031/ECE-R66. The Ansys Worrkbench software to simulation in the study used.

The results have examined the deformation of the bus body when rollover. The level of deformation is determined by the parameters of distance from the vehicle's center of gravity to the longitudinal axis of the vehicle, and displacement value, equivalent strain, stress and impact acceleration. Stress and strain according to the permissible stress of the body material is compared.

Keywords: Bus body, rollover, AIS 031/ECE-R66 standard.

¹Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: nguyenthanhquang@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/01/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/6/2021

Ngày chấp nhận đăng: 25/02/2022

1. GIỚI THIỆU

Sau những tai nạn trong đó có trường hợp bị lật trong khi di chuyển sẽ là một trong những nguy cơ nhất đối với sự an toàn đe dọa tính mạng của hành khách và người lái do cấu trúc thân xe bị biến dạng nghiêm trọng dẫn đến tử vong hoặc bị thương do xâm phạm đến cấu trúc bên trong khoang xe làm giảm khoảng không gian sống sót tối thiểu cho hành khách. Do đó, độ bền của thân xe khách/buýt đã trở thành vấn đề quan trọng đối với thiết kế và sản xuất xe phải đủ độ bền để hấp thụ năng lượng va chạm.

Theo thống kê tại Hoa Kỳ, chỉ riêng năm 2003, tai nạn lật xe xảy ra hơn 10.000 vụ làm 229.000 người tử vong và bị thương [1]. Khi phân tích và mô phỏng va chạm do lật xe ở Thụy Điển đã điều tra trên 128 nạn nhân về kết quả thương tích trong 300 vụ tai nạn do lật xe, cơ chế và khả năng thương tích đối với người ngồi trên xe, trong đó có tỷ lệ thương vong cao nhất do bị phóng ra ngoài, phóng một phần hoặc thân xe bẹp hoàn toàn [2].

Thử nghiệm kiểm tra va chạm trên xe rất quan trọng để đảm bảo an toàn cho xe buýt/khách nhưng cần chi phí cao hơn nhiều so với thử nghiệm xe con khiến các nhà sản xuất khó thực hiện [3]. Khi đó cần có phương pháp thay thế thử nghiệm nhưng vẫn cho kết quả chính xác, dễ dàng thực hiện và kinh tế. Phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng phổ biến nhất để mô phỏng số quá trình va chạm xe [4]. Sidhu đã thực hiện mô phỏng mô hình an toàn xe buýt với khung gầm được sử dụng kiểu R260 với sự phân bố khối lượng ở hai điều kiện khác nhau: khi không tải và khi đầy tải [5].

Xu hướng chung trên thị trường là những nhà sản xuất khung vỏ xe khách trở thành nhà cung cấp độc lập (OEM), nghĩa là thiết kế và chế tạo khung vỏ xe được thực hiện bởi các nhà chế tạo thứ ba để cung cấp cho các nhà máy lắp ráp (nhà sản xuất chế tạo chi tiết, chế tạo khung vỏ và lắp ráp hoàn thiện). Khi đó, kết cấu thân vỏ xe dễ được tối ưu và đảm bảo an toàn nhờ thiết kế, chế tạo và kiểm tra đánh giá từ đầu theo tiêu chuẩn riêng thân vỏ và theo tiêu chuẩn chung của xe hoàn thiện. Một số nước đã có những quy định về an toàn khi xe bị lật trong khi xe vận hành. Tiêu chuẩn AIS-052 & AIS-031 tại Ấn Độ, nước có mật độ xe ô tô lớn. Ở châu Âu có quy định của UNECE số 66 (ECE66), các yêu cầu tương tự của quy định này được bao gồm trong tiêu chuẩn 2001/85/EC. Tiêu chuẩn ECE66 áp dụng cho các xe buýt/khách một tầng chuyên chở hơn 16 hành khách không kể người lái và phục vụ [6].

2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU

2.1. Mục đích mô phỏng và các giả thiết

Mục đích mô phỏng:

Để mô tả lại quá trình lật xe trong các thử nghiệm bằng cách sử dụng mô phỏng số nhằm hỗ trợ quá trình phát triển cho phép điều chỉnh và tối ưu hóa thiết kế thân vỏ xe.

Giả thiết của mô hình:

- Các cụm tổng thành và khung vỏ xe liên kết cứng với nhau. Khung vỏ xe không chịu ảnh hưởng va đập của các cụm tổng thành trong xe như ghế ngồi, các tấm ốp nội thất, điều hòa nhiệt độ và tất cả các chi tiết nội thất khác.
- Vận tốc chuyển động quay lật của khung vỏ xe đều.
- Khối lượng khung vỏ xe được phân bố đều để toàn thân xe có độ cứng như nhau.

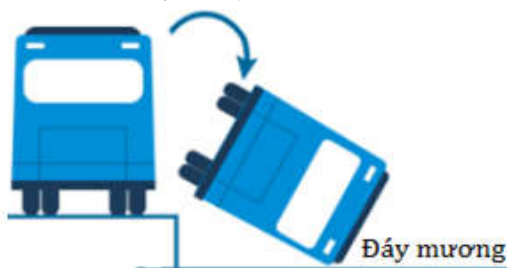
2.2. Các dạng lật ngang

Các trường hợp va chạm điển hình của xe buýt và xe khách là va chạm bên, phía sau, trực diện và lật ngang. Mặc dù va chạm do lật ngang xe không phổ biến, nhưng số lượng người bị thương nghiêm trọng cao so với các loại va chạm khác do một lần lật ngang có thể gây ra tối đa năm vòng quay xe trên đường.

Có hai trường hợp có thể xảy ra tai nạn lật xe buýt. Xe buýt thành phố chạy trên đường có chất lượng tốt và khả năng bị lật chỉ xảy ra khi vào cua tốc độ cao (ví dụ: hành lang đường BRT), hình 1. Xe khách liên tỉnh chạy trên đường có địa hình phức tạp nên khả năng bị lật cao, và thường lấy độ sâu của con mương cạnh đường làm mốc chiều cao khi xe lật, hình 2.



Hình 1. Mô hình lật xe buýt thành phố



Hình 2. Mô hình lật xe khách liên tỉnh

Khi chuyển động, bánh xe buýt lăn trên mặt đất theo một trục song song với hướng dọc của xe và đi qua mép ngoài cùng của lốp ngoài cùng (phải/trái/trước/sau). Khi bị va chạm hoặc vào cua tốc độ cao xe bị quay đi một góc. Có ba lực tác động lên xe: lực lốp (lực hướng tâm), tác dụng quán tính (lực ly tâm) và trọng lực. Lực vào cua từ lốp tác dụng ở mặt đất, bên dưới khối tâm sẽ đẩy xe về tâm của khúc cua. Lực quán tính tác dụng theo phương ngang qua trọng tâm của xe ở vị trí theo chiều cao. Hai lực này làm cho xe lăn bánh về phía ngoài khúc cua. Lực của trọng lượng của xe tác dụng từ trên xuống dưới. Khi lực lốp và lực quán tính lớn hơn trọng lực thì xe bắt đầu bị lật.

2.3. Tiêu chuẩn kiểm tra lật ngang

Khi bị lật, cấu trúc tổng thể khung vỏ xe cần đủ độ bền để không có phần nào của thân vỏ xâm nhập vào khoảng không gian của hành khách. Tiêu chuẩn châu Âu AIS 031/ECE-R66 kiểm tra độ bền thân vỏ xe trong va chạm lật ngang, khi va chạm khung xe bị biến dạng làm giảm không gian cần thiết cho người ngồi trong xe. Mức độ biến dạng khung xe được xác định bằng khoảng cách từ trọng tâm xe đến tâm trục trước đối với va chạm chính diện và đường trục dọc đối với va chạm bên vuông góc.

Trong quá trình thử nghiệm, đặt trên bề mặt phẳng và lăn xuống bề mặt sàn sâu 800mm do trọng lực của chính nó với vận tốc góc không quá 0,087rad/s. Sự xâm nhập của cấu trúc thân vỏ xe vào không gian bên trong khoang xe được kiểm tra bằng tay và việc đạt/không đạt được quyết định dựa trên tiêu chuẩn [7].

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

3.1. Các bước mô phỏng

Mô phỏng có thể được thực hiện theo một số cách khác nhau như 1-D/2-D/3-D. Phương pháp phân tích phần tử hữu hạn và phần mềm Ansys Workbench được sử dụng khá phổ biến với độ chính xác và tốc độ giải cao của phần mềm.

Quá trình mô phỏng bao gồm bốn bước chính: (1) Mô hình hóa (Model): Chuẩn bị mô hình thiết kế CAD cho xe và mặt đường thử nghiệm. (2) Định nghĩa hệ trục tọa độ; xác định các liên kết; định nghĩa vật liệu; chia lưới mô hình. (3) Đặt lực và điều kiện biên cho xe di chuyển lật ngang. (4) Thiết lập thời gian kết thúc, bước thời gian và các tệp xuất kết quả cho quá trình xử lý và phân tích kết quả.

Bước 1. Mô hình hóa (Model): Mô hình hình học xe bus trên cơ sở xe 29 chỗ County Hyundai là loại xe được sản xuất và sử dụng khá phổ biến ở Việt Nam thiết kế khung vỏ xe và tất cả các chi tiết từ phần mềm 3D Solidworks, phần mở rộng *.IGS cập nhật vào phần mềm Ansys Workbench để mô phỏng. Khung xe gồm các hộp thép ống dày 3mm hàn thành khung không gian cứng. Vỏ xe gồm tám mỏng thép các bon thấp mác 300M lắp chặt với khung bằng các mối hàn bấm tiếp xúc. Mặt đường bề mặt bê tông cứng có kích thước mặt cắt ngang đúng theo tiêu chuẩn quy định, chiều dài trước và sau dài hơn xe mỗi chiều 1 mét, nếu dài quá sẽ làm tăng khối lượng của mô hình mô phỏng.

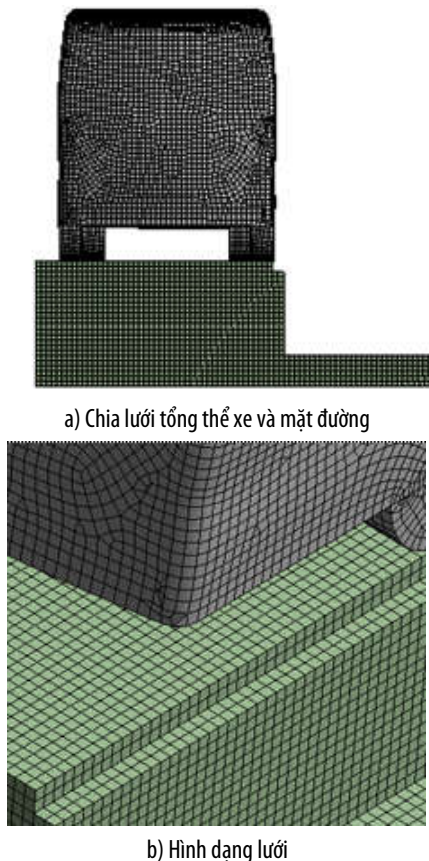
Bước 2. Hệ trục tọa độ tổng thể của mô hình mặc định trong phần mềm. Có hai liên kết chính trên mô hình gồm liên kết trên xe là các liên kết cứng (Bolded) và liên kết bánh xe mặt đường là liên kết ma sát (Frictionless).

Bảng 1. Thông số vật liệu thép sử dụng trên khung vỏ xe

	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Young's Modulus (MPa)	Poisson's Ratio	Độ bền kéo (MPa)	Độ bền uốn (MPa)	Độ bền cắt (MPa)
Thép các bon thấp (300M)	7800	182.530	0,3265	1,595	1,958	68,801

Vật liệu thân xe bằng thép các bon thấp, lốp xe đồng nhất bằng cao su, mặt đường bê tông cứng. Đặc tính vật liệu thép của mô hình nêu trong bảng 1. Thành phần hóa học thép các bon thấp theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8998:2018 ASTM E 415-17 [8].

Các phần tử khối lượng trong mô hình phần tử hữu hạn (FE) là C44 (ADMAS) và Triads. Mô hình chia lưới dạng Explicit với các phần tử tuyến tính (Linear). Kích thước phần tử 5 (mm). Số lượng 333736 phần tử và 367405 nút. Sử dụng phương pháp chia lưới mịn (Smooth Transition) với tỷ số độ mịn 2,272 và độ gia tăng của kích thước lwois là 1,2 ta nhận được kết quả mô hình chia lưới trình bày trong hình 3.

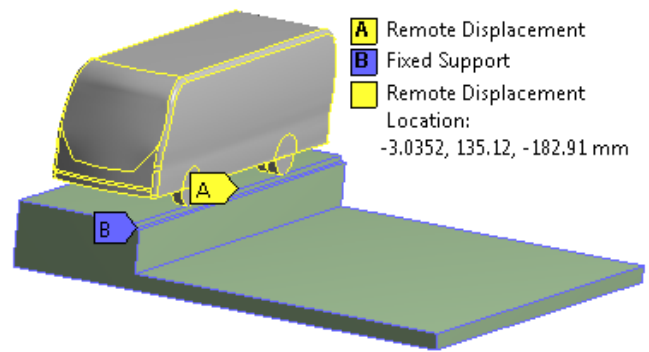


Hình 3. Mô hình chia lưới

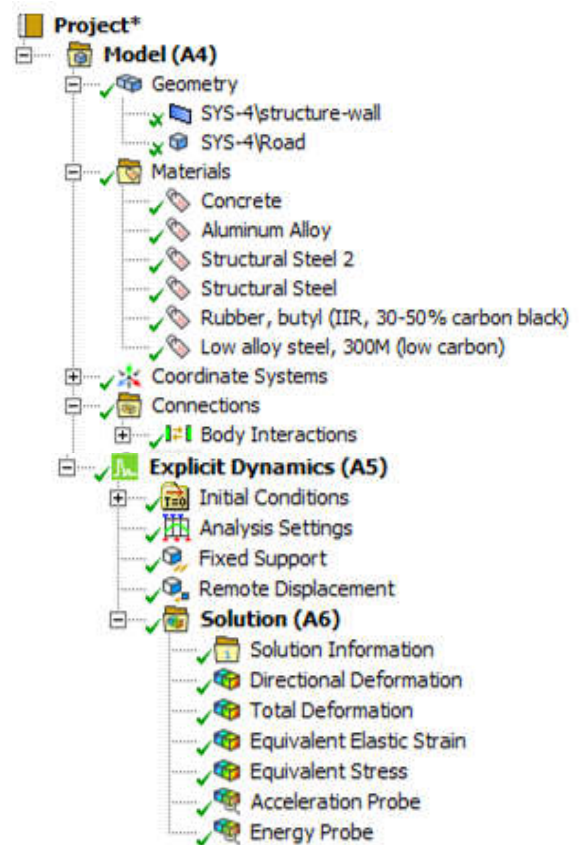
Bước 3. Đặt lực và các điều kiện biên

Mô hình lật ngang bên trái được thiết lập quá trình mô phỏng. Mô men lật $M_L = 0,75$ (Nm) được tác dụng vào tất cả thân xe theo đường mép *Edge A* và đường mép màu vàng không ghi ký hiệu có vị trí trong hệ tọa độ tổng thể theo các trục X, Y, Z lần lượt là -3,0352; 135,12; 182,91 (mm) để xác định chiều cao trọng tâm *h* là khoảng cách thẳng đứng giữa trọng tâm của xe đến vị trí tiếp xúc với mặt nền. Nền bê tông cứng tuyệt đối được cố định bằng cách sử dụng câu lệnh Fixed hạn chế ở tất cả các bậc tự do bằng tất cả các đường cạnh *B* (hình 4).

Tổng thể quá trình mô phỏng được xây dựng theo cấu trúc động lực học va chạm Explicit Dynamics và phân tích năng lượng va chạm (Energy Probe). Sơ đồ mô phỏng nêu trong hình 5.



Hình 4. Đặt lực và các điều kiện biên



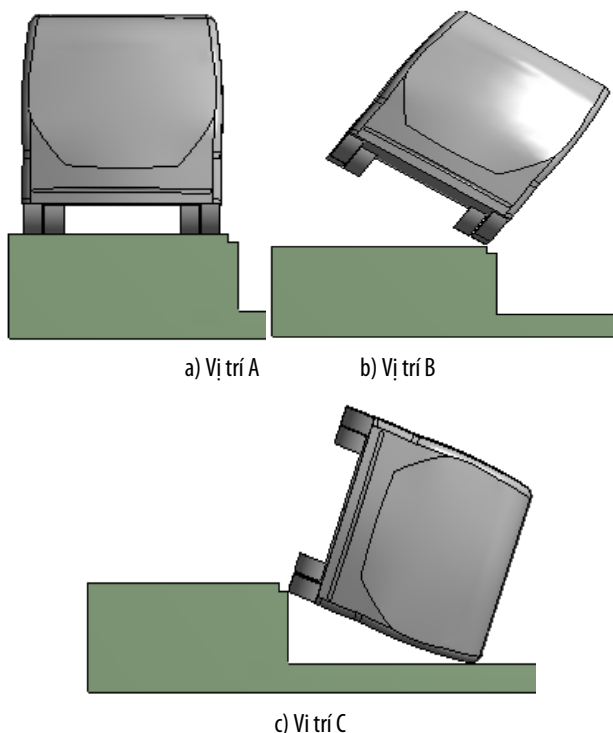
Hình 5. Sơ đồ tổng quát mô phỏng lật ngang xe

3.2. Phân tích động học lật ngang xe khách

Động học lật ngang xe buýt/khách xác định vị trí của các điểm quay, trục quay, điểm va chạm thân vỏ xe với mặt đất và tính toán gia tốc góc trong va chạm được mô tả trên hình 6. Quá trình lật được chia thành hai giai đoạn.

Giai đoạn lật thứ nhất từ vị trí A đến B: Xe được quay quanh điểm dưới cùng của chốt chặn bánh sau (O1) cho đến khi trọng tâm của xe đạt đến độ cao tối đa là vị trí thay đổi trong quá trình lật.

Giai đoạn lật thứ hai từ vị trí B đến C: Cả xe bị rơi xuống bậc 800mm và mép trái trên nóc xe bắt đầu chạm sàn mặt đường thử và bị tác động lực gây biến dạng đầu tiên khoảng 1 - 1,5 (mm), tiếp theo toàn khung vỏ xe chịu lực va chạm và quá trình biến dạng toàn phần sẽ xảy ra.



Hình 6. Kết quả động học lật ngang xe buýt/khách

Vận tốc góc ω của quá trình lật được xác định bởi công thức (1) [7]:

$$\omega^2 = \frac{1}{2} \frac{M \times g \times H}{I_{RA}} \quad (1)$$

Với

I_{RA} là mô men quán tính lật của xe theo trục quay X tính theo công thức (2)

$$I_{RA} = I_{xx} + M \times D^2 \quad (2)$$

I_{xx} là mô men quán tính khối lượng quay theo trục X.

H là độ biến thiên chiều cao trọng tâm.

M là khối lượng xe; g là gia tốc trọng trường.

Kết quả mô phỏng nhận được vận tốc quay trung bình lật ngang 0,083rad/s và các thông số động học nêu trong bảng 2 sử dụng cho tính toán.

Bảng 2. Các thông số động học mô phỏng

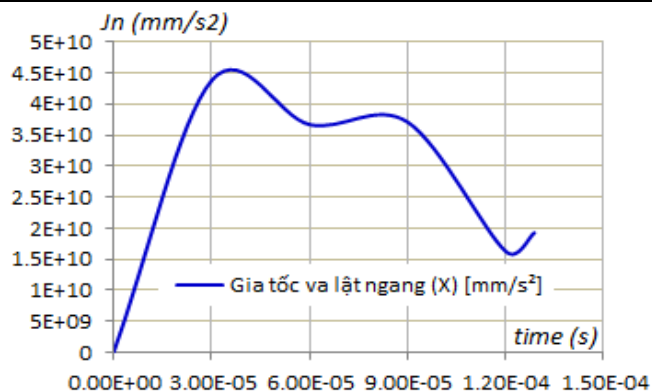
Material (Loại vật liệu)		
Assignment	Low alloy steel, 300M (low carbon)	Thép các bon thấp, 300M
Properties (thuộc tính)		
Volume	6,5321e+005mm ³	Thể tích
Mass	5,1166kg	Khối lượng
Centroid X	-20,949mm	Tọa độ trọng tâm theo X
Centroid Y	32,869mm	Tọa độ trọng tâm theo Y
Centroid Z	-56,331mm	Tọa độ trọng tâm theo Z
Moment of Inertia Ip1	68019kg·mm ²	Mômen quán tính khối lượng theo X

Moment of Inertia Ip2	2,8072e+005kg·mm ²	Mômen quán tính khối lượng theo Y
Moment of Inertia Ip3	2,797e+005kg·mm ²	Mômen quán tính khối lượng theo Z

Biểu đồ gia tốc lật trên hình 7 cho thấy trong 1/4 thời gian ban đầu của quá trình lật, gia tốc đạt cực đại ở 4,5E+10mm/s² là thời điểm lực tác dụng lên xe lớn nhất và ra gây lật trong quá trình kiểm tra đánh giá độ bền khung vỏ xe.

Bảng 3. Giá trị gia tốc lật ngang

Thời gian [s]	Gia tốc lật theo phương (X) [mm/s ²]
1,18E-38	0
3,01E-05	4,38E+10
6,01E-05	3,67E+10
9,00E-05	3,71E+10
1,20E-04	1,63E+10
1,29E-04	1,93E+10

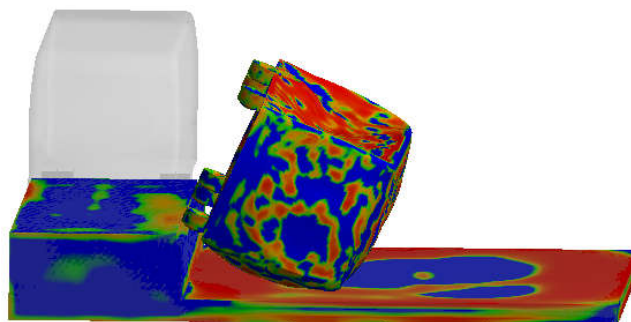


Hình 7. Gia tốc lật ngang thân xe

3.3. Phân tích độ bền thân vỏ xe

Bảng 4. Các giá trị ứng suất biến dạng trên thân xe

	Chuyển vị theo X (mm)	Tổng chuyển vị (mm)	Biến dạng tương đương (mm/mm)	Ứng suất tương đương (MPa)
Nhỏ nhất	-6,129	0,0	0,0	0,0
Lớn nhất	3,0702	37,918	3,0362e-002	3285
Trung bình	-1,4572e-003	1,5593	1,0017e-003	162,34

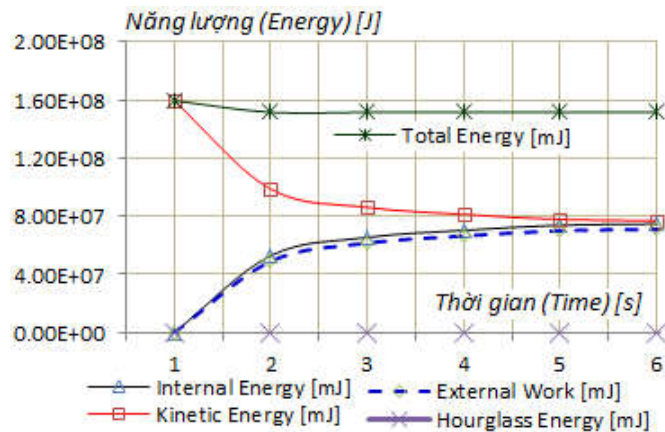


Hình 8. Ứng suất biến dạng trên khung vỏ xe

Kết quả phân tích mô phỏng kiểm tra độ cứng khung vỏ xe trong va chạm theo tiêu chuẩn ECE-R66 nêu trong bảng 4 với vật liệu vỏ xe bằng thép các bon thấp 300M. Ứng suất cực đại xuất hiện trên thân xe phân bố chủ yếu hai bên sườn ngang và có giá trị lớn nhất tới 3285MPa vượt quá giá trị cho phép nhiều (320MPa). Điều này do va chạm tức thời của góc trên khung vỏ xe với mặt đường bê tông thử nghiệm (hình 8).

4. ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC MÔ PHỎNG

Để kiểm tra độ chính xác của kết quả mô phỏng, ta xác định tổng năng lượng trong khoảng thời gian mô phỏng khi động năng giảm xuống biến đổi thành nội năng (gồm năng lượng ứng suất và năng lượng của sự trượt trên bề mặt chi tiết) theo thời gian. Trên đồ thị cân bằng năng lượng cho thấy các phân bố năng lượng khác nhau trong quá trình mô phỏng lật xe và tổng năng lượng không đổi, như vậy kết quả mô phỏng là chính xác (hình 9).



Hình 9. Đồ thị cân bằng năng lượng quá trình lật

5. KẾT LUẬN

Sử dụng phần mềm phần tử hữu hạn Ansys Workbench mô phỏng phân tích độ bền khung vỏ ô tô khách khi lật ngang theo tiêu chuẩn châu Âu AIS 031/ECE-R66 đã nhận được kết quả ứng suất biến dạng thân vỏ khi lật ngang vòng góc. Mức độ biến dạng khung vỏ xe được xác định bằng các giá trị chuyển vị, biến dạng tương đương, ứng suất và gia tốc va chạm. Ứng suất lớn nhất được so sánh với ứng suất cho phép của vật liệu làm thân xe.

Sử dụng phương pháp cân bằng năng lượng trong quá trình lật khung vỏ xe cho thấy tổng năng lượng không đổi và cho thấy kết quả mô phỏng là chính xác. Kết quả mô phỏng có thể sử dụng tham khảo trong thực tiễn thiết kế thân vỏ xe.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Khoa Công nghệ Ô tô, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã tạo điều kiện cho nhóm tác giả hoàn thành nghiên cứu này. Cảm ơn các sinh viên Mai Thanh Tùng, Đoàn Văn Mạnh đã hỗ trợ về vấn đề nghiên cứu này của bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Mike Linstromberg, Gerd Scholpp, Oliver Scherf, 2011. *Test and Simulation Tools in a Rollover Protection Development Process*. Siemens Restraint Systems GmbH, Germany, Paper No. 05-0122.

[2]. D. Senthil Kumar, 2011. *Coach Passenger Injury Risk During Rollover: Influence of The Seat and the Restraint System*. Giovanni Belingardi Paolo Martella Lorenzo Peroni Dipartimento di Meccanica Politecnico di Torino C.so Duca degli Abruzzi 24 10129 Torino Italy. Paper Number 05-0439

[3]. Gursel K.T., Gursesli S., 2010, *Analysis of the Superstructure of a Designed Bus in Accordance with Regulations ECE R 66*. G. U. Journal of Science, 23(1), pp. 71-79, 2010

[4]. Satrio Wicaksono, M. Rizka Faisal Rahman, Sandro Mihradi, Indra Nurhadi, 2017. *Finite Element Analysis of Bus Rollover Test in Accordance with UN ECE R66 Standard*. J. Eng. Technol. Sci., Vol. 49, No. 6, 799-810

[5]. Sidhu M.S., 2012. *Rollover Bus*. 2012 India HyperWorks Technology Conference, pp. 1-13.

[6]. *Amendment No 11 (09/2019) To AIS-052 (Rev.1): Code of Practice for Bus Body Design Approval*. The automotive research association of india p. B. No. 832, pune 411 004. https://hmr.araaiindia.com/api/AISFiles/AIS_052_Rev1_6d77bc38-f272-438f-be30-589c8e44f1bd.pdf

[7]. Standard UN-ECE No. 66-02, 2010. *Strength of Superstructure - Large Passenger Vehicles*. ECE - United Nations.

[8]. TCVN 8998:2018 ASTM E 415-17, 2018. *Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry*.

[9]. Ansys Workbench 2020 R1, 2020. *Workbench User's Guide*. All rights reserved. <https://www.ansys.com/academic/free-student-products>

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Thanh Quang¹, Pham Viet Thanh¹, Le Van Anh¹, Le Hong Quan¹, Duong Thi Thanh Thuy²

¹Faculty of Automobile Technology, Hanoi University of Industry

²Faculty of Mechanical Engineering, Hanoi University of Industry