

Tính toán áp lực của sóng nổ trong môi trường đất đá

Calculate the pressure of explosion waves in the soil

> PGS.TS NGUYỄN TRÍ TÁ
 Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Bài báo trình bày sự hình thành và lan truyền của sóng nén khi nổ trong môi trường đất đá. Phương pháp xác định áp lực sóng nén và kết quả nghiên cứu ứng dụng phần mềm Abaqus để xác định áp lực của sóng nén do nổ trong đất. Từ đó có những nhận xét về việc tính toán áp lực sóng nén do nổ trong môi trường đất đá.

Từ khóa: Sóng nén; nổ trong đất; phần mềm Abaqus.

ABSTRACT

This paper presents the formation and propagation of compression waves when explosive in the soil environment. Method of determining compressive wave pressure and research results using Abaqus software to determine the pressure of compression wave due to explosion in ground. From there, there are comments on the calculation of compressive wave pressure due to explosion in the soil environment.

Keywords: Compression waves; explosive in the soil; software Abaqus.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

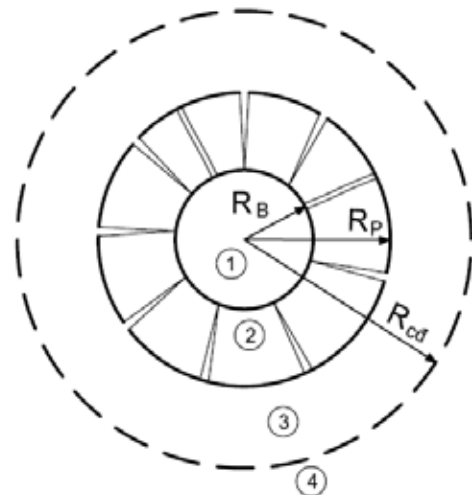
Khi nổ trong môi trường đất đá sẽ sinh ra các vùng khác nhau như vùng nén, vùng phá hoại và vùng chấn động. Tại vùng chấn động, đất đá sẽ chịu tác dụng của áp lực sóng nén. Thực tế, bán kính các vùng và áp lực sóng nén trong môi trường đất đá phụ thuộc vào nhiều yếu tố: khối lượng thuốc nổ, các tham số của nền đất, vị trí nổ so với bề mặt đất ... Việc tính toán xác định bán kính của các vùng và giá trị của áp lực sóng nén trong vùng chấn động bằng lý thuyết là rất khó khăn, đặc biệt tại vùng gần tâm nổ, môi trường đất đá bị phá hoại và có sự thay đổi tính chất cơ lý. Vì vậy, để xác định bán kính các vùng và giá trị áp lực sóng nén thường sử dụng các công thức thực nghiệm. Tuy nhiên, với sự phát triển của khoa học công nghệ, một số phần mềm chuyên ngành như phần mềm Abaqus, Ansys, LS Dyna ... đã được ứng dụng để tính toán mô phỏng tương đối đầy đủ bán kính của các vùng và giá trị của áp lực sóng nén tại vùng chấn động.

2. TÁC DỤNG NỔ TRONG MÔI TRƯỜNG ĐẤT ĐÁ [1]

Khi nổ trong đất, môi trường đất xung quanh lượng nổ hình

thành 3 vùng nổ rõ rệt:

- Vùng nén là vùng kề sát khối thuốc nổ. Khi sản phẩm nổ giãn nở đất bị nén rất mạnh tạo thành khối rỗng, đất bị biến dạng dẻo, ép chặt vào nhau hình thành vành đai cứng.
- Vùng phá hoại kề sát vùng nén, đất trong vùng này bị phá hoại dưới dạng các vết nứt xuyên tâm và tiếp tuyến.
- Vùng chấn động kề sát vùng phá hoại, đất ở đây bị biến dạng đàn hồi.



Hình 1. Nổ trong môi trường vô hạn

Cả ba vùng này gọi là vùng biến dạng với bán kính lần lượt R_B , R_P , R_C .

$$\begin{aligned} R_B &= m \cdot K_B \cdot \sqrt[3]{K_T \cdot C} \\ R_P &= m \cdot K_P \cdot \sqrt[3]{K_T \cdot C} \\ R_C &= m \cdot K_C \cdot \sqrt[3]{K_T \cdot C} \end{aligned} \tag{1}$$

Trong đó:

m là hệ số lèn;

K_B , K_P , K_C là các hệ số phụ thuộc tính chất môi trường đối các với vùng nén, vùng phá hoại và vùng chấn động;

K_T là hệ số sử dụng thuốc;

C là trọng lượng khối nổ (kg).

Áp lực sóng nén tại một điểm được tính theo công thức [1]:

$$\Delta P = A \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^m \tag{2}$$

Trong đó:

ΔP là áp lực sóng nén, kg/cm^2 ;

R là khoảng cách từ tâm nổ đến điểm tính toán trên kết cấu, m;
A và m là các hệ số thực nghiệm phụ thuộc loại đất;
Thời gian duy trì tác dụng của sóng nén tính theo công thức thực nghiệm:

$$\tau = 10^{-3}(R + \sqrt[3]{C}) \quad (3)$$

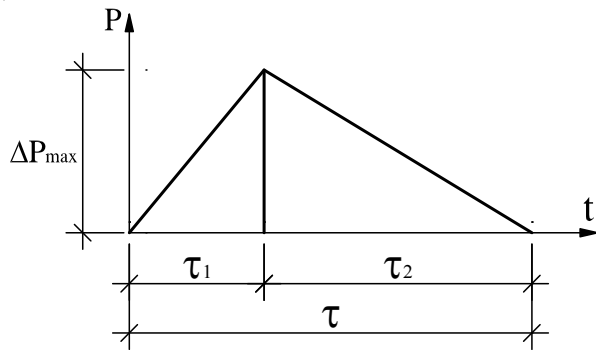
Thời gian áp lực tăng từ 0 đến cực đại xác định theo công thức:

$$\tau_1 = \frac{R - 0,6\sqrt[3]{C}}{a_0} \left(\frac{a_0}{a_1} - 1 \right) \quad (4)$$

Thời gian giảm áp lực:

$$\tau_2 = \tau - \tau_1 \quad (5)$$

a_0 là tốc độ lan truyền sóng nén trong đất trong giai đoạn đàn hồi;
 a_1 là tốc độ lan truyền sóng nén trong đất ngoài giai đoạn đàn hồi.



Hình 2. Biểu đồ áp lực sóng nén theo thời gian

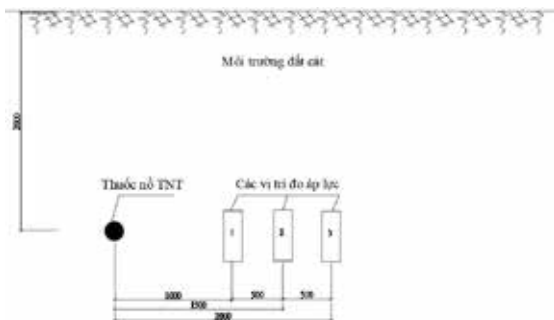
Nội dung nghiên cứu của bài báo là xác định áp lực sóng nén tại các vị trí khác nhau tính từ tâm nổ khi nổ một lượng nổ trong môi trường đất vô hạn, không đi sâu xem xét các vùng phá hoại.

3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU

Sử dụng lượng nổ 3,5 kg thuốc TNT nổ trong môi trường đất cát ở độ sâu 2 m so với mặt đất. Nhiệm vụ tính toán áp lực sóng nén tại điểm 1 (cách tâm nổ 1,0 m), điểm 2 (cách tâm nổ 1,5 m) và điểm 3 (cách tâm nổ 2,0 m), Sơ đồ bài toán như hình 3, các tham số của môi trường đất cát được thể hiện trong bảng 1

Bảng 1: Các tham số của môi trường đất cát

Trọng lượng riêng γ_d (T/m ³)	Tốc độ truyền sóng đàn hồi a_0 (m/s)	Tốc độ truyền sóng đàn hồi dẻo a_1 (m/s)	Mô đun đàn hồi E (MPa)	Hệ số Poisson ν	Góc ma sát trong φ (°)
1,5	300	100	30	0,25	24



Hình 3. Mô hình bài toán

4. GIẢI BÀI TOÁN THEO CÔNG THỨC THỰC NGHIỆM [1], [2]

Sử dụng công thức (2) và (3) để tính áp lực sóng nén và thời gian tăng áp lực sóng nén tại điểm 1, 2 và 3 trong đất.

Đối với đất cát [1] chọn hệ số: A = 8, m = 3, $a_0 = 300$ m/s, $a_1 = 100$ m/s.

a. Áp lực sóng nén tại điểm 1 cách tâm lượng nổ 1 m:

$$\Delta P = A \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^m = 8 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{3,5}}{1} \right)^3 = 28,06 (kG / cm^2)$$

- Thời gian tác dụng của sóng nén:

$$\tau = 10^{-2}(R + \sqrt[3]{C}) = 10^{-2}(1 + \sqrt[3]{3,5}) = 0,0252 \text{ (s)}$$

b. Áp lực sóng nén tại điểm 2 cách tâm lượng nổ 1,5 m:

$$\Delta P = A \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^m = 8 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{3,5}}{1,5} \right)^3 = 8,31 (kG / cm^2)$$

- Thời gian tác dụng của sóng nén:

$$\tau = 10^{-2}(R + \sqrt[3]{C}) = 10^{-2}(1,5 + \sqrt[3]{3,5}) = 0,0302 \text{ (s)}$$

c. Áp lực sóng nén tại điểm 3 cách tâm lượng nổ 2,0 m:

$$\Delta P = A \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^m = 8 \cdot \left(\frac{\sqrt[3]{3,5}}{2} \right)^3 = 3,51 (kG / cm^2)$$

- Thời gian tác dụng của sóng nén:

$$\tau = 10^{-2}(R + \sqrt[3]{C}) = 10^{-2}(2,0 + \sqrt[3]{3,5}) = 0,0352 \text{ (s)}$$

5. KẾT QUẢ TÍNH ÁP LỰC SÓNG NÉN THEO PHẦN MỀM ABAQUS

5.1 Mô hình vật liệu trong bài toán

a. Mô hình thuốc nổ

Để mô hình hóa hiện tượng nổ và quá trình lan truyền áp lực sóng nổ, người ta thường sử dụng phương trình trạng thái do Lee - Tarver và Jones - Wilkins - Lee" (JWL EOS) đề xuất. Theo đó phương trình trạng thái của thuốc nổ TNT và chất nổ tương đương có dạng như sau [4]:

$$p = C_1 \left(1 - \frac{\omega}{r_1 v} \right) e^{-r_1 v} + C_2 \left(1 - \frac{\omega}{r_2 v} \right) e^{-r_2 v} + \frac{\omega e}{v} \quad (6)$$

Trong đó: p là áp suất thủy tĩnh; $v = \frac{1}{\rho}$ là thể tích riêng; ρ là

khối lượng riêng thuốc nổ TNT; v_n là tốc độ nổ; e là năng lượng trên đơn vị thể tích; P_C là áp suất nổ; $C_1, r_1, C_2, r_2, \omega$ là các hằng số đoạn nhiệt được xác định từ thí nghiệm. Các tham số mô hình vật liệu như bảng 2.

Bảng 2. Tham số mô hình vật liệu TNT [4]

ρ (kg/m ³)	v_n (m/s)	P_C (kPa)	C_1 (kPa)	C_2 (kPa)
1630	6930	$2,1 \times 10^7$	$3,7377 \times 10^8$	$3,73471 \times 10^6$
r_1	r_2	ω	ν	e (kJ/m ³)
4,15	0,9	0,35	1/1650	6×10^6

b. Mô hình không khí

Với trạng thái ban đầu cân bằng, phương trình trạng thái khí lý tưởng được xác định như sau [9]:

$$p = (\gamma - 1) \rho e \quad (7)$$

Trong đó: p là áp suất thủy tĩnh; ρ khối lượng riêng của không

khí; e nội năng riêng; $\gamma = 1 + \frac{R}{c_v}$ là số mũ đoạn nhiệt. Các tham số của mô hình không khí như bảng 3

Bảng 3. Tham số mô hình vật liệu không khí [7]

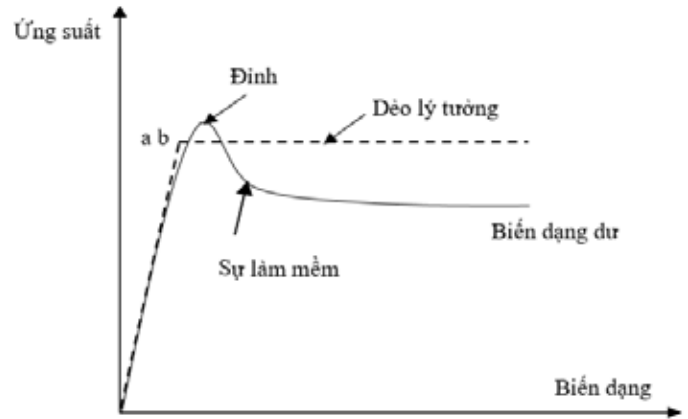
ρ (kg/m ³)	P_0 (kG/cm ²)	e (J/kg)	γ	c_v (J/kg.K)	T_0 (K)
1,2	1,033	193300	1,4	716,4	288

c. Mô hình đất

Khi quan niệm nền đất theo mô hình đàn hồi tuyến tính thì mô hình này chỉ chấp nhận được với nền đất cố kết chặt, tải trọng tác động nhỏ, nền có tính chất đàn hồi, chấp nhận bỏ qua biến dạng dẻo. Khi nghiên cứu, tính toán chịu tải trọng nổ mô hình đơn giản này không thể diễn tả được bản chất ứng xử cơ học phức tạp của nền.

Khi tính toán công trình ở xa tâm nổ chỉ còn tác dụng địa chấn của sóng nổ có thể áp dụng mô hình này.

Trong trường hợp công trình ở gần tâm nổ, tải trọng lớn mô hình đàn hồi tuyến tính sẽ có sai số lớn. Trong phạm vi bài báo để mô tả ứng xử của nền khi chịu các tác động của tải trọng nổ tác giả dùng mô hình Mohr-Coulomb cổ điển thường. Trong mô hình này, đường cong ứng suất - biến dạng bao gồm quá trình đàn hồi và đàn dẻo lý tưởng. Hình 4 mô tả quan hệ ứng suất - biến dạng của nền thực tế và nền theo mô hình Mohr - Coulomb.



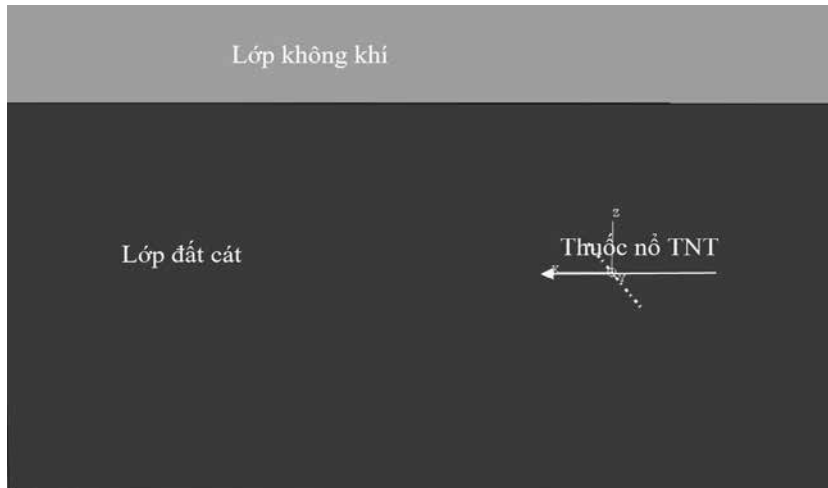
Hình 4. Quan hệ US - BD của nền thực tế và mô hình Mohr - Coulomb

Theo một phương, mặt chày Mohr-Coulomb được định nghĩa là một đường tuyến tính giữa ứng suất cắt τ và ứng suất pháp σ theo quan hệ:

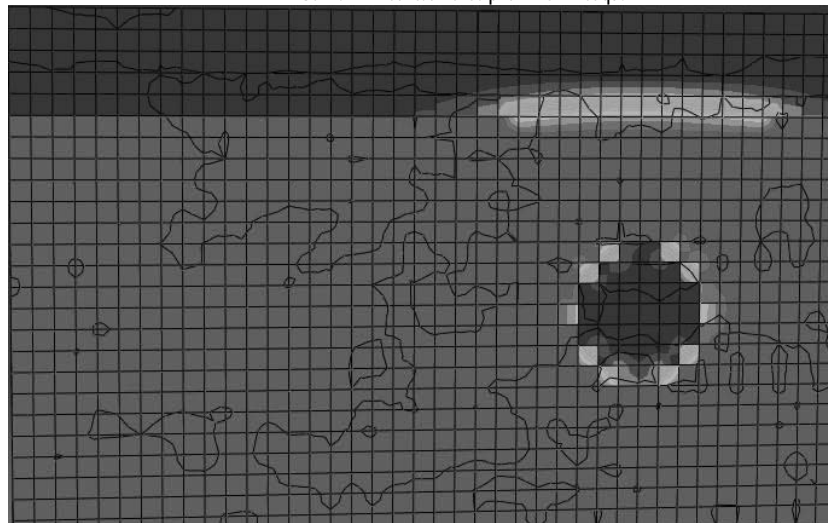
$$f = |\tau| - (c - \sigma \tan \varphi) = 0 \tag{8}$$

Trong đó: f là phương trình mặt chày; c và φ lần lượt là các hằng số lực dính và góc ma sát trong.

Các tham số môi trường đất cát được cho trong Bảng 1.

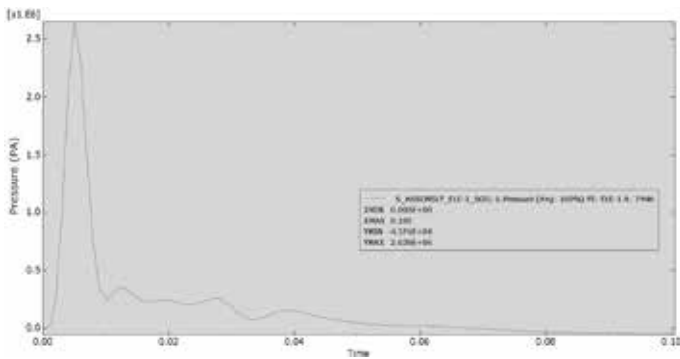


Hình 5. Mô hình bài toán theo phần mềm Abaqus

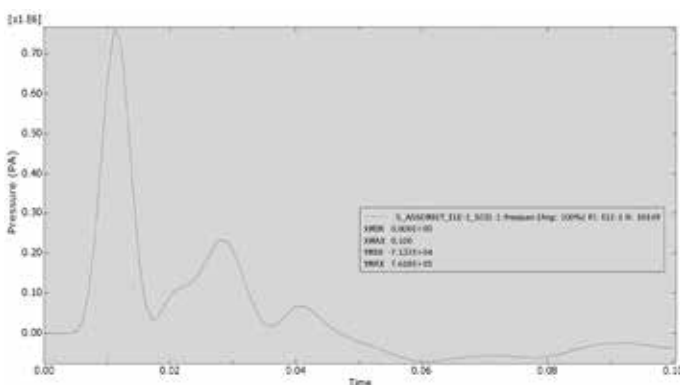


Hình 6. Kết quả tác dụng nổ trong nền đất

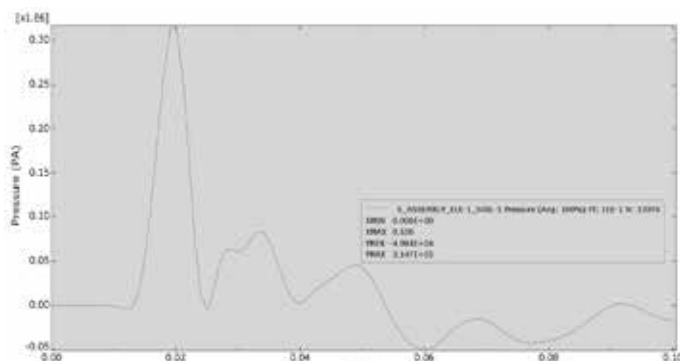
a. Áp lực sóng nén tại các điểm trong môi trường



Hình 7. Áp lực sóng nén tại điểm 1 (cách tâm nổ 1,0 m)



Hình 8. Áp lực sóng nén tại điểm 2 (cách tâm nổ 1,5 m)



Hình 9. Áp lực sóng nén tại điểm 3 (cách tâm nổ 2,0 m)

b. So sánh kết quả tính toán lực sóng nén tại các điểm 1, điểm 2 và điểm 3 theo công thức thực nghiệm (2), và phần mềm Abaqus như bảng 4:

Bảng 4. So sánh giá trị áp lực sóng nén theo công thức (2) và phần mềm Abaqus

Điểm	Công thức (2.8) (Pa)	Phần mềm Abaqus (Pa)	Chênh lệch %
1	$2,806.10^6$	$2,468.10^6$	13,6
2	$8,31.10^5$	$7,549.10^5$	10,0
3	$3,51. 10^5$	$3,147. 10^5$	11,5

- So sánh thời gian tăng áp lực sóng nén tại điểm 1, điểm 2 và điểm 3 theo công thức (3) và phần mềm Abaqus như bảng 5:

Bảng 5. So sánh giá trị thời gian tác dụng của sóng nén theo công thức (3) và phần mềm Abaqus

Điểm	Công thức (2.10) (s)	Phần mềm Abaqus (s)	Chênh lệch %
1	0,0252	0,012	110
2	0,0302	0,018	68
3	0,0352	0,026	35

Nhận xét:

- Kết quả nghiên cứu theo phần mềm Abaqus cho thấy, quy luật áp lực sóng nén tại các vị trí cách tâm nổ 1,0 m, 1,5m và 2,0 m cùng dạng với kết quả tính toán từ các công thức thực nghiệm. Tuy nhiên, giá trị áp lực sóng nén tính theo phần mềm Abaqus nhỏ hơn ính theo thực nghiệm từ 10,0% đến 13,6%.

- Tại các vị trí càng xa tâm nổ áp lực sóng nén càng giảm phần ảnh đúng quy luật lan truyền của nén trong môi trường đất.

- Thời gian tác dụng của sóng nén tính theo phần mềm Abaqus nhỏ hơn thời gian tác dụng của sóng nén theo công thức thực nghiệm.

3. KẾT LUẬN

- Các kết quả thu được khẳng định tính hợp lý của phương pháp nghiên cứu thử nghiệm số bằng phần mềm Abaqus với kết quả nghiên cứu bằng các công thức thực nghiệm để tính toán áp lực sóng nén do nổ một lượng nổ trong môi trường đất đá.

- Giá trị áp lực sóng nén và thời gian tác dụng tính theo phần mềm nhỏ hơn theo công thức thực nghiệm. Điều này, chứng tỏ khi tính toán theo công thức thực nghiệm là an toàn cao cho các công trình chịu tác dụng của tải trọng nổ trong môi trường đất đá.

- Cần tiếp tục nghiên cứu cả thực nghiệm và cả mô phỏng số để có được kết quả tính toán áp lực sóng nén do nổ một lượng nổ trong môi trường đất đá hợp lý nhất đồng thời bổ sung thêm các hệ số thực nghiệm A và m trong công thức (2) cho các loại môi trường đất đá khác nhau phục vụ cho việc tính toán kết cấu công trình trong đất chịu tác dụng của sóng nổ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích (2008), *Giáo trình công sự tập 1*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [2] Vũ Đình Lợi (2005), *Giáo trình Công sự (dùng cho học viên cao học chuyên ngành xây dựng CTQP)*, Học viện Kỹ thuật Quân sự.
- [3] ABAQUS Theory Manual, revision 2020, Pawtucket, Rhode Island, USA, 2020.
- [4] E. Lee, M. Finger, W. Collins, JWL equations of state coefficient for high explosives, Lawrence Livermore Laboratory, Livermore, Calif, UCID-16189, Berkeley 1973.
- [5] Whitlow R. (1995), *Basic soil mechanics*, Wiley, New York.
- [6] Henrych J. *The Dynamics of Explosion and Its Use*, Chapter 5. Elsevier: New York, 1979.
- [7] Baker, W. E. (1973). *Explosions in Air*. University of Texas Press, Austin, Texas.
- [8] Johnson, G. R., Cook, W. H. (1985). Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures. *Engineering Fracture Mechanics*, 21.
- [9] Johnson, G. R., Cook, W. H. (1983). A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures. *Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics*, The Netherlands.