

# Моделиране на процесите за пластична деформация с Крайни Елементи при ударно натоварване

Иван Алтъпармаков

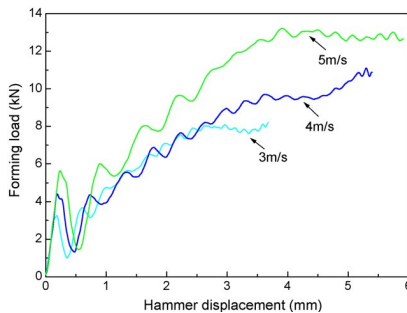
В работата са представени резултатите от моделиране с КЕ на изменението на деформиращата сила при ударно сплескване на цилиндрични образци от олово, за скорост на удара 6.5 - 20 m/s. Изследвани са случаите на обикновен и комбиниран удар (удар с действие на допълнителна сила). Установена е съществена разлика в характера на изменението на силата за тези два случая. Определени са необходимите условия за получаване на „прилепващ удар“.

## 1. Въведение

За моделиране на процесите за пластична деформация с МКЕ (Метод на Крайни Елементи) са разработени много програмни продукти. Тук спадат както универсалните програми ABAQUS, ANSYS, ADYNA [1], [2], които имат модули за моделиране на квазистационарни и динамични процеси на студено и горещо деформиране, така и специализирани програми за моделиране на процесите при горещо обемно шамповане, като 3-D FORM.

Основната трудност която трябва да се преодолее при моделиране на големи пластични деформации е поддържане на мрежата от крайни елементи. Това се осъществява чрез периодично автоматично възстановяване на силно изкривената мрежа, като се запазват стойностите на получените параметри на процесите.

При ударна пластична деформация процесът се усложнява поради допълнителното действие на инерционни компоненти на напреженията и деформациите, както и на разпространение на пластични вълни в деформираното тяло. В работата [3] са показани диаграми на изменение на силата при сплескване с различни скорости, които добре илюстрират влиянието на пластичните вълни върху характера на изменение на силата – фиг.1. Първоначалния пик на диаграмата се дължи на инерционните сили, а вълнообразния и вид на действие на пластичните вълни.



Фиг. 1. Изменение на деформиращата сила при сплескване на цилиндрични образци от олово с  $D_0 = 20$  mm,  $H_0 = 20$  mm, за три скорости на удар [3]

Целта на моделирането представено в настоящата работа е, да се изследва изменението на силата за деформация при обикновен и при комбиниран удар, в разглеждания скоростен диапазон. Това се налага, поради многобройните косвени доказателства получени при експерименти [4], [5] и при моделиране с МКЕ [3], [6] които показват, че при ударно деформиране изменението на силата се влияе от разпространението на еластични и пластични вълни в обема на деформираното тяло.

Втората причина за подобни изследвания е, че използването на ракетен двигател за задвижване на падащата част на чук – бойника, дава възможност за получаване на скорост на удара  $V_y$  в голям диапазон – от  $V_y = 4$  m/s до  $V_y = 25$  m/s, като при всяка скорост може да се получава комбиниран удар.

## 2. Избор на материал и размери на образците за деформация

Материалът на деформираните цилиндрични образци е олово. Тъй като се моделира деформационен процес при скорости на удара по-големи от 5 m/s, се приема, че законът за уякчаване на материала зависи от скоростта на деформиране  $\dot{\epsilon}$  [23]

$$\sigma_y = 38.1391 \epsilon^{-0.2742} \dot{\epsilon}^{0.03184} \quad (11)$$

Останалите свойства на материала са: плътност : 11.34 g/mm<sup>3</sup>; модул на еластичност  $E = 17000$  МПа; коефициент на затихване на трептенията в олово 0.3 [28].

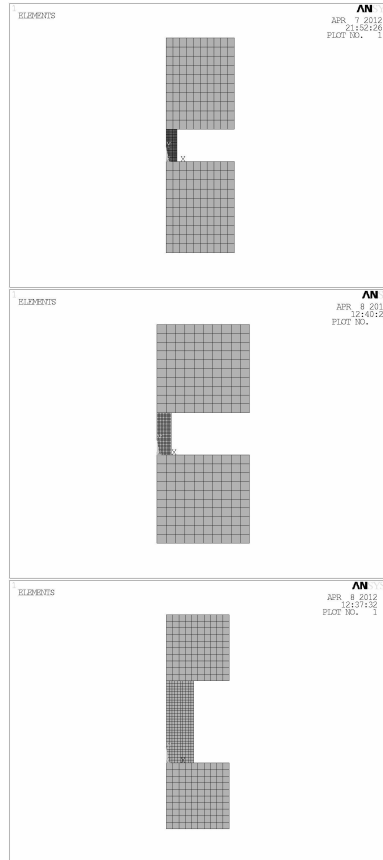
Използваните образци са с цилиндрична форма и с отношение  $H/D = 1.5$  – Таблица 1. В таблицата с  $O$  е означен обема, а с  $F_{k,0}$  е означена контактната повърхнина между деформиращия инструмент и челната повърхнина на образца.

Таблица 1. Размери на образците за моделиране процеса на сплескване

| Образец | D <sub>0</sub> ,<br>m<br>m | H <sub>0</sub> ,<br>m<br>m | O, mm <sup>3</sup> | F <sub>k,o</sub> ,<br>mm <sup>2</sup> |
|---------|----------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| A       | 14                         | 21                         | 1177,5             | 78,5                                  |
| B       | 20                         | 30                         | 9420,0             | 314,0                                 |
| C       | 30                         | 45                         | 31792,5            | 706,5                                 |
| D       | 50                         | 75                         | 147187,5           | 1962,5                                |
| E       | 100                        | 150                        | 1177500            | 7850                                  |

За моделиране на ударно сплескване с различни скорости на удар се използва модула за динамични процеси LS DYNA на програмния продукт ANSYS. Моделира се половината на всеки образец. В случая се моделира половината, вместо една четвърт от образца, за да може да се проследи влиянието на отразените в долната контактна повърхнина пластични вълни, върху параметрите на деформационния процес, при различни скорости на удар. Деформиращите инструменти също се омрежват, за да се изследват възникващите в тях напрежения.

На фиг.2 са показани омрежените модели за образци А – Е.



Фиг. 2. Омрежване на образците и инструментите за сплескване за образец: а – А; б – С; в – Е

### 3. Методика на моделиране

Целта на проведеното моделиране е да се определи характера на разсейване на енергията на удара при обикновен и комбиниран удар и при различни скорости на удар  $V_y$  в интервала  $V_y = 6.5 - 20$  m/s.

За да се получи ясна зависимост за влиянието на скоростта на удара, методиката предвижда моделирането да се проведе при една и съща енергия на удара  $E_y$  и скорости на удар  $V_y = 6.5; 9; 12; 16; 20$  m/s. Приема се, че при скорост  $V_y = 20$  m/s масата на падащата част е 4.16 kg. Енергията на удар в този случай ще бъде

$$E_0 = \frac{mV^2}{2} = 2,080.400 = 832 .$$

J. (12) се прилага

За да се запази същата енергия при другите скорости на удар масата на падащата част се увеличава с необходимата стойност.

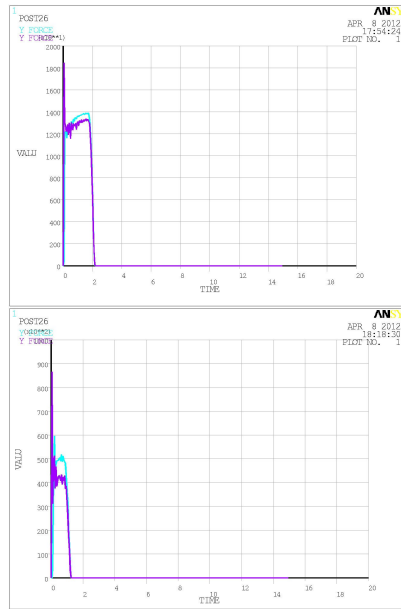
При всяка скорост на удара се осъществява два вида моделиране - едно за обикновен удар и едно за комбиниран удар. При моделиране на обикновен удар се определя силата на отскока  $P_{отс}$ . При комбиниран удар сила на притискане  $P_{пр} = P_{отс}$ , така, че да се получи удар без отскок (прилепващ удар).

Във всички случаи, сплескването се осъществява при максимално триене по двете контактни повърхнини.

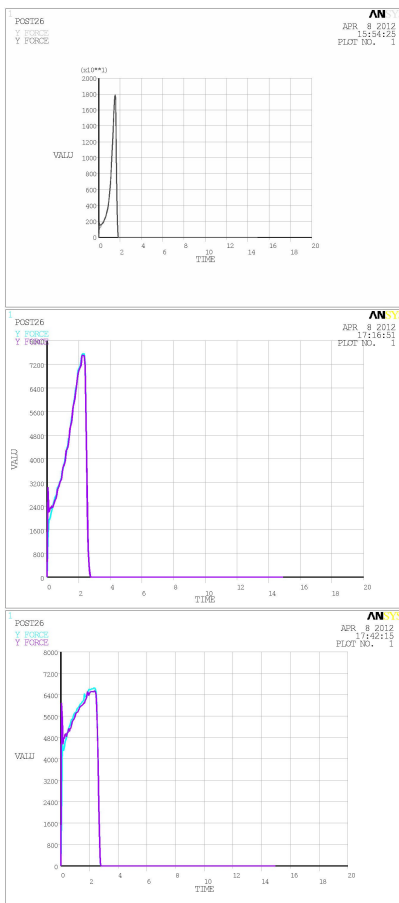
#### 4. Резултати от моделирането

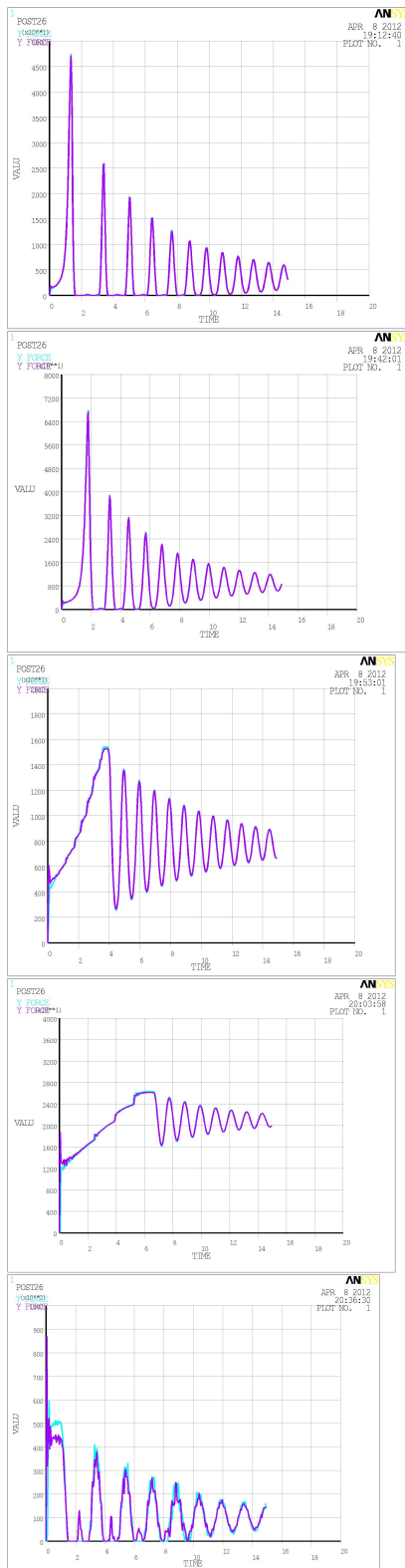
На фиг.3 са показани диаграми за изменение на силата за деформиране при обикновен удар, за първоначалното действие на бойника. След първия удар бойникът отскача, връща се отново надолу и нанася втори удар с по-малка стойност на получаваната сила,отново отскача и т.н. постепенно затихва до пълно изчерпване на енергията. На диаграмите е показан характера на изменение на силата само при първия удар.

При комбиниран удар без отскок, наричан от нас „прилепващ удар”, кинетичната енергия се изразходва за разпространение на еластични и пластични вълни, които водят до постепенно затихване на силата – фиг. 4. Тази картина на изменение на силата е получена при използване на модул от ANSYS, с който се отчита разпространението на трептения след ударно натоварване.



Фиг. 3 . Диаграми за изменение на силата за деформиране при обикновен удар (с буква А,....,Е е означен вида на деформирия образец – Таблица 1 )





Фиг. 4. Диаграми за изменение на силата за деформиране

при комбиниран удар (с буква А,...,Е е означен вида на деформирания образец – Таблица 1 ). Скорост на удар: А – 20m/s; В – 16m/s; С – 12 m/s; D – 8.5 m/s; Е – 6.75 m/s

## 5. Изводи

Представените резултати показват, че моделирането с МКЕ може да даде многогранна и достоверна информация за процеса на ударна пластична деформация, при скорост на бойника до 25 m/s.

Прилагането на допълнителна външна сила през време на деформацията (комбиниран удар) оказва влияние върху вида характера на изменение на силата и скоростта.

По-детайлното изследване на характера на разсейване на енергията на удара, показва, че има голяма разлика между обикновен и комбиниран удар. При обикновен удар разсейването на енергията се осъществява в резултат на няколкократни удари и отскоци с намаляваща амплитуда.

Разсейването на енергията на удар за случая на комбиниран удар зависи от скоростта на удар, специфичната енергия на удар и големината на допълнителната сила, действаща през време на деформационния процес (тягата на ракетния двигател). При определено съчетаване на тези параметри се получава „прилепващ удар” – образци С и D от фиг. 4. В този случай силата не достига нулева стойност (което би означавало пълно разтоварване на образца и следващ нов цикъл натоварване-разтоварване до нула), а колебанията в големината на силата са значително над хоризонталата ос. Това означава, че деформирания образец остава натоварен на натиск (без да се наблюдават отскоци на бойника) през цялото време на разсейване на енергията на удар. Пълното изучаване на този процес изисква допълнителни експериментални и теоретични изследвания, свързани с изучаване на разпространението на еластични вълни в деформирания образец.

Установено е, че поради вълновия характер на разпространение на силата, в случая на комбиниран удар разсейването на енергията на удара става чрез цикличното и изменение, което има затихващ характер. – фиг.4.

## Благодарности

Представените изследвания са осъществени с финансовата подкрепа на Фонд „Научни Изследвания”, Договор ДО 02-262/2008.

## Литература

[1]. Simulation of metal forming process by the Finite Element Method, Stuttgart, 1998.

[2]. Johnson G.R., Cook W.H. 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 Hague, The Netherlands, 1983.

[3]. Z.J.Wang, L.D.Cheng, Experimental research and numerical simulation of the dynamic cylinder upsetting, Material Science and Engineering A, 2009, 499, 138-141.

[4]. T.Penchev, I.Altaparmakov, D.Karastojanov, Experimental study on the possibilities to decrease the coefficient of restitution after impact, Applied Mechanics and Materials, 2012, vol.217-219, 1659-1662.

[5]. И.Алтъпармаков, Т.Пенчев, К.Пашеев, Експериментално изследване на ефекта на „комбиниран удар“ при сплескване на цилиндрични образци, Научна Трудове на Русенския Университет, 2012, том51, Серия 2, 175-179.

[6]. В.Боздуганова, Т.Пенчев, И.Иванов, Моделиране с метода на крайни елементи на високоскоростна пластична деформация при сплескване, Механика на машините, 2011, 93, (2), 17- 21.