Експериментално изследване на ефекта на „комбиниран удар" при сплескване на цилиндрични образци

Иван Алтъпармаков, Тодор Пенчев, Кирил Пашеев

Experimental study of the effect of the "combined impact" on upsetting cylindrical specimens: *When applying effects of "combined impact" in the process of plastic deformation by upsetting occurs significant increase of the degree of deformation ε and reduced bounce. Lead specimens were examined with ratio H_0/D_0 = 1.2, 1.5, 1.8. It was found that the degree of impact of the effect is strongly influenced by the specific energy Es of the impact, impact velocity V_y and the ratio H_0/D_0.*

Key words*: impact, upsetting plastic deformation.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Деформиране на заготовки чрез прилагане на удар се осъществява при коване и горещо обемно щамповане с чукове. Процесът преминава през следните етапи:

• ускоряване на падащите части (бойник + горна щампа). В края на този етап се осъществява контакт между подвижната щампа и заготовката. Линейната скорост на падащите части в най-първия момент на контакт се означава с V_y, m/s, а кинетичната енергия E_y в този момент се пресмята по формулата

$$E_y = \frac{mV_y^2}{2}, \text{ J}, \qquad (1)$$

където m е масата на падащите части, kg;

- отдаване на кинетичната енергия за пластична и еластична деформация на заготовката, за еластична деформация на възлите на машината и на инструмента, за триене по контактните повърхнини между заготовката и щампите. В [1] е показано, че при сплескване на цилиндрични заготовки 95 % от енергията се използва за пластична деформация, а само 5 % за останалите компоненти. В края на този етап подвижната щампа достига крайно долно положение и $E_y = 0$;
- възстановяване на размерите на деформираната заготовка и на инструментите със стойността на еластичните деформации, получени в предишния етап;
- отскок на подвижната щампа. При достигане на горно положение на щампата следва обратно движение надолу. Този процес се повтаря със затихваща амплитуда на отскока, до окончателно спиране на щампата в долно положение.

Големината на отскока зависи от вида на материала, от който са направени удрящите се тела, скоростта на удара, ъгъла между нормалите на двете тела към равнината на удара и др. За определяне поведението на телата при удар се използва коефициентът на възстановяване e, който се пресмята по формулата

$$e = \sqrt{\frac{H_{отс}}{H}} = \frac{V_{отс}}{V_y}, \qquad (2)$$

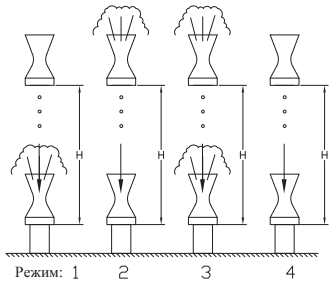
където: $H_{отс}$ е височината на отскока, m; H – височината на падане, m; $V_{отс}$ – скоростта на отскок, m/s. Коефициентът e = 1 при идеално еластичен материал и e=0 при идеално пластичен материал. При гореща пластична деформация с чук e=0,05 – 0,3 [2], като малките стойности са за първите преходи, а големите стойности за последните преходи, когато деформираният метал е по-студен.

Целта на настоящата работа е да се изследва ефекта от приложение на управляван (комбиниран) удар при пластична деформация чрез сплескване на цилиндрични образци.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА УРЕДБА ЗА КОМБИНИРАН УДАР

Използвана е лабораторна уредба за изследване на комбиниран удар, разработена в Лаборатория „Изследване на ударни технологични процеси" към Кат. МТМ, МТФ, ТУ-София [3]. Масата на падащата част е 9,12 kg, а силата на притискане, получавана от студен ракетен двигател е 216 N. Двигателят работи с въздух под налягане 30 bar.

Управляващото устройство на уредбата дава възможност да се получат четири режима на удар – фиг.1.



Фиг.1. Режими на комбиниран удар: Режим 1 – свободно падане (с изключен двигател) + притискане в процеса на удар (включване на ракетния двигател в момента на удар); Режим 2 – ускоряване с ракетен двигател в процеса на падане и изключване на двигателя в момента на удар; Режим 3 – включен ракетен двигател през време на падане и на удара; Режим 4 – обикновен удар (ракетният двигател е изключен през цялото време)

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТА

Материал и размери на образците

Използвани са образци от олово (99,99 Pb) със следните размери:

а) Експеримент 1. Образци с постоянно отношение на височината H_0 към диаметъра D_0, H_0/D_0 = 1,5 - Таблица 1 (с K_0 е означен обемът на образците).

б) Експеримент 2. Образци с H_0/D_0 = 1,2; 1,5; 1,8 и V = const. – Таблица 2.

Таблица 1. Размери на образците за сплескване при H_0/D_0 = 1,5

D_0, sm	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
H_0,sm	3,3	3,6	3,9	4,1	4,5	4,8	5,1	5,4	5,7	6,0
K_0, sm^3	125,4	162,8	207,0	258,5	319,9	385,8	462,8	549,4	646,1	753,6

Таблица 2. Размери на образците При K = const.

D_0, sm	17,20	16,00	15,00
H_0,sm	20,70	24,00	27,10
H_0/D0	1,2	1,5	1,8

Последователност на работа

Експеримент 1. Деформацията се осъществява чрез сплескване при максимално триене по контактните повърхнини. Масата на падащите части е 9,12 kg. Експериментите се осъществяват при в условията на свободно падане и при управляем удар - Режим 2 и Режим 3 от фиг.1. Скоростта на удара E_y = 7,20 m/s ± 2% е еднаква за двата режима. Експерименти при които разликата в скоростта на удара за двата режима е ΔV_y > ± 2% не се взимат под внимание. След деформацията се измерват размерите на образците и се изчисляват следните параметри: ε, E_y, специфичната енергия на удара E_c

$$E_c = \frac{E_y}{V_0}. \text{ J/sm}^3, \quad (3)$$

където V_0 е обема на заготовката, sm^3. Тук се използва параметърът „специфична енергия на удара" E_c [4] вместо «специфично налягане», защото при чукове основният параметър е енергията на удара E_y.

Експеримент 2. Осъществява се деформация чрез сплескване при максимално триене по контактните повърхнини. Масата на падащите части е 6,17 kg. Експериментите се осъществяват при условията на свободно падане и при управляем удар - Режим 2 и Режим 3 от Фиг.1. Скоростта на удара е в границите V_y=2,90 - 8,80 m/s ± 2 % и е еднаква за двата режима Процесът на деформиране се заснема с високоскоростна камера Casio Exlim EX-F1 (до 1200 кадъра/сек). От получените видеоматериали се определя големината на отскока $H_{отс}$ и по формула (2) се пресмята коефициента на възстановяване е.

РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Резултати от Експеримент 1.

На Фиг. 2 е показана получената зависимост E_c – ε. Вижда се, че с нарастване на специфичната енергия за деформация ефектът от прилагане на допълнителна сила нараства. При максималната специфична енергия тази разлика е 12,5 %. Нашите очаквания са, че ако се използва ракетен двигател с по-голяма тяга, тази разлика може да нарасне значително.

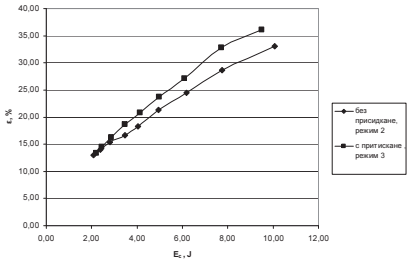
При определяне на отскока беше установено, че отскока не се намалява при използване на сила на притискане $P_{пр}$ = 210 N.

Резултати от Експеримент 2.

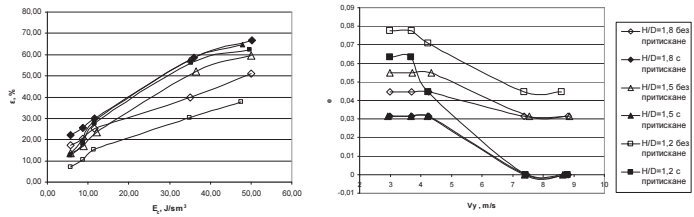
От фиг. 3а се вижда, че най-малка деформация при една и съща специфична енергия се получава при H_0/D_0 = 1,2, а най-голяма при H_0/D_0 = 1,5. С нарастването на специфичната енергия нараства разликата между стойността на деформациите без допълнително притискане и с притискане за H_0/D_0= 1,2; 1,8, като най-голяма е тази разлика при H_0/D_0 = 1,2. В процентно отношение тази разлика е 65,4 % за H_0/D_0 = 1,2 и 31,2 % за H_0/D_0 = 1,8. Това е свързано с намаляване на отскока до нула при максималната скорост на удара - фиг. 3б. В този случай може да определим удара при максимална скорост като „прилепващ удар", при който големината на отскока е $H_{отс}$=0.

Голямото влияние на отношението H_0/D_0 върху големината на коефициента на възстановяване може да се обясни с влиянието на това отношение върху разпространението на еластични вълни в процеса на деформация. Това разпространение се контролира от допълнителната сила на ракетния двигател и анулира тяхното влияние върху отскока на подвижната част (бойник) при високи скорости на удар – фиг. 3б. При малки скорости на удар въздействието на допълнителната сила върху разпространение на еластични вълни е по-малко.

Процесът на разпространение на еластични и пластични вълни в оловен образец е моделиран с КЕ в [5]. Показано е, че скоростта на удара не оказва влияние на скоростта на разпространение на еластичната вълна, но оказва влияние върху скоростта и големината на напреженията на пластичната вълна. Именно с това може да се обясни наблюдаваната в нашите експерименти разлика в степента на деформация при нарастване на специфичната енергия E_c при различни стойности на отношението H_0/D_0 – фиг. 3а.



Фиг. 2. Зависимост E_c – ε при сплескване на оловни образци с H_0/D_0 = 1,5



а) б)

Фиг. 3. Зависимости при сплескване на образци с различно отношение H_0/D_0 и K=const.: а) E_c – ε ; б) V_y – e

Скоростта на еластичната вълна на напреженията V_E и на пластичната вълна $V_П$ се определят от формулите

$$V_E = \sqrt{\frac{E(1-\upsilon)}{\rho(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}}, \qquad (3)$$

$$V_{П} = \sqrt{\frac{d\sigma}{\rho d\varepsilon}} = \sqrt{\frac{E_T}{\rho}}, \qquad (4)$$

където: E – модул на еластичност на деформирания материал; ρ – плътност; υ – коефициент на Поасон; E_T = dσ/dε се определя от наклона на кривата напрежения деформации в нейната пластична област. От (3) и (4) се вижда, че $V_E > V_П$, тъй като $E > E_T$. За олово V_E = 1.956.106 mm/s и $V_П$ = 0,39.105 – 1,224.106 mm/s, като скоростта на пластичната вълна намалява с нарастване на пластичната деформация [5]. От тези формули се вижда също така, че скоростта на еластичната вълна зависи само от характеристиките на материала и за даден материал е постоянна. Скоростта на пластичната вълна зависи както от плътността на материала, така и от характера на изменение на напреженията и деформациите в процеса на деформация, т.е. от вида на кривата σ – ε. Тъй като тази крива се променя при изменение на скоростта на удара V_y, следва, че скоростта на пластичната вълна, както и големината на напреженията на тази вълна се променят при изменение на V_y. Взаимодействието на пластичната вълна с двата края на заготовката, става при различни гранични условия, при обикновен и комбиниран удар, което променя процеса на деформация в тези два случая. С това може да се обяснят получените резултати за по-голямата степен на деформация при комбиниран удар и нарастването на деформацията с нарастване на специфичната енергия E_c.

По подобен начин, в резултат на изменените гранични условия при достигане на горната повърхнина на заготовката може да се обяснят и получените резултати за отскок на бойника при обикновен и комбиниран удар.

ИЗВОДИ

Въз основа на получените резултати от експериментите може да се направят следните по-важни изводи:

- При сплескване на цилиндрични образци има ясно изразено влияние на ефекта „комбиниран удар" върху деформационния процес. Това влияние нараства с увеличаване на специфичната енергия за деформация E_c и на скоростта на удар – фиг.2 и фиг.3.
- В резултат на прилагане на ефекта „комбиниран удар" може да се постигне удар без отскок, наречен „прилепващ удар". Получаването на „прилепващ удар" не се влияе от отношението H_0/D_0, но се влияе от скоростта на уар V_y. При сравнително малки скорости на деформация в диапазона 2,90 – 4,20 m/s при използваната тяга на студения ракетен двигател не може да се получи такъв удар, но се получава значително намаляване на отскока – фиг.3б. Това може да се обясни с разпространение на еластични вълни на напрежения и въздействието върху тях на допълнителната сила на притискане през време на деформацията.
- Отношението H_0/D_0 на изходните размери на образците оказва съществено влияние върху степента на деформация ε, при една и съща специфична енергия на деформация E_c и върху резултатите от прилагане на „комбиниран удар". Това влияние нараства значително при нарастване на E_c – фиг.2 и фиг. 3а. Обяснението на този ефект може да се даде при използване особеностите на разпространяване на пластични вълни на напреженията в деформираните тела и влиянието върху тях на допълнителната сила на притискане на заготовката в процеса на деформация.
- Необходими са допълнителни теоретични и експериментални изследвания, за да се получи пълна картина на възможностите за управляване на ударните процеси при пластична деформация, при използване на ефекта „комбиниран удар".

БЛАГОДАРНОСТИ

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

ЛИТЕРАТУРА

[1] A.M.S.Hamouda, Effect of energy losses during an impact event on the dynamic flow stress, Materials Processing Technology, 2002, 124, 209-2015.

[2] Охрименко Я.М., Тюрин В.А., Неравномерность деформации при ковке, М., Машиностроение, 1969.

[3] T. Penchev, I.Altaparmakov, D.Karastojanov, Experimental study on thepossibilities to decrease the coefficient of restitution after impact, 2012 International Conference on Advanced Design and Manufacturing Engineering, August 16-18, 2012, Tajuan, China.

[4] Беляев Ю.В., Возможность улудшения энергосиловых характеристик удара кузнечных молотов, Кузнечно- штамповочное производство, 1981, 4, 21 – 24.

[5] Wang.Zhong-jin, Cheng Li-dong, Effect of material parameters on stress wave propagandation during fast upsetting, Transactions of Nonferous Materials Society of China, 2008, 18, 1189-1195.

За контакти:

Гл. Ас. д-р Иван Алтъпармаков, Катедра "Диференциални уравнения", факултет по приложна математика и информатика, Технически университет София тел.: 02 828 93 74, e-mail: ialt@tu-sofia.bg

Докладът е рецензиран