

Abstracts of Dissertations

Institute of Information and
Communication Technologies

BULGARIAN ACADEMY OF
SCIENCES



4 / 2016



STUDY OF
CONTROLLED
IMPACT PROCESSES

Stanislav Gyoshev

ИЗСЛЕДВАНЕ НА
УПРАВЛЯЕМИ
УДАРНИ ПРОЦЕСИ

Станислав Гъшев

Автореферати на дисертации

Институт по информационни и
комуникационни технологии

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ISSN: 1314-6351

Поредицата „Авториферати на дисертации на Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките“ представя в електронен формат авториферати на дисертации за получаване на научната степен „Доктор на науките“ или на образователната и научната степен „Доктор“, защитени в Института по информационни и комуникационни технологии при Българската академия на науките. Представените трудове отразяват нови научни и научно-приложни приноси в редица области на информационните и комуникационните технологии като Компютърни мрежи и архитектури, Паралелни алгоритми, Научни пресмятания, Лингвистично моделиране, Математически методи за обработка на сензорна информация, Информационни технологии в сигурността, Технологии за управление и обработка на знания, Грид-технологии и приложения, Оптимизация и вземане на решения, Обработка на сигнали и разпознаване на образи, Интелигентни системи, Информационни процеси и системи, Вградени интелигентни технологии, Йерархични системи, Комуникационни системи и услуги и др.

Редактори

Генадий Агре

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Райна Георгиева

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Даниела Борисова

Институт по информационни и комуникационни технологии, Българска академия на науките
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

Настоящото издание е обект на авторско право. Всички права са запазени при превод, разпечатване, използване на илюстрации, цитирания, разпространение, възпроизвеждане на микрофилми или по други начини, както и съхранение в бази от данни на всички или част от материалите в настоящето издание. Копирането на изданието или на част от съдържанието му е разрешено само със съгласието на авторите и/или редакторите

The series Abstracts of Dissertations of the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences presents in an electronic format the abstracts of Doctor of Sciences and PhD dissertations defended in the Institute of Information and Communication Technologies at the Bulgarian Academy of Sciences. The studies provide new original results in such areas of Information and Communication Technologies as Computer Networks and Architectures, Parallel Algorithms, Scientific Computations, Linguistic Modelling, Mathematical Methods for Sensor Data Processing, Information Technologies for Security, Technologies for Knowledge management and processing, Grid Technologies and Applications, Optimization and Decision Making, Signal Processing and Pattern Recognition, Information Processing and Systems, Intelligent Systems, Embedded Intelligent Technologies, Hierarchical Systems, Communication Systems and Services, etc.

Editors

Gennady Agre

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: agre@iinf.bas.bg

Rayna Georgieva

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: rayna@parallel.bas.bg

Daniela Borissova

Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: dborissova@iit.bas.bg

This work is subjected to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the materials is concerned, specifically the rights of translation, reprinting, re-use of illustrations, recitation, broadcasting, reproduction on microfilms or in other ways, and storage in data banks. Duplication of this work or part thereof is only permitted under the provisions of the authors and/or editor.



Abstract of PhD Thesis

STUDY OF CONTROLLED IMPACT PROCESSES

Stanislav Dimitrov Gyoshev

Supervisor: Prof. Dimitar Karastoyanov

Approved by Supervising Committee:

Prof. Galia Angelova
Prof. Lubomir Dimitrov
Prof. Kostadin Kostadinov
Prof. Todor Neshkov
Prof. Dimitar Karastoyanov



The PhD thesis was discussed and allowed to be defended during an extended session of the Embedded Intelligent Technologies at IICT-BAS, which had been held on June 28, 2016.

The defense of the PhD thesis had been held on September 29, 2016 at 16:00 in Room 507, Block 2, IICT-BAS.

The full volume of the dissertation is 144 pages. It consists of an introduction and four chapters). The list of references contains 99 titles. The text of the dissertation includes 26 tables and 77 figures. These lists are given at the beginning of the dissertation.

Keywords: high speed impact, controlled impact, high speed briquetting, metal deformation, plastic deformation, elastic deformation, die forging, machines for high speed impact, high speed camera

Introduction

In this dissertation made an overview, analysis and systematization of methods and means for the realization of high-speed impact processes in deformation of metals, briquetting and compacting of metallic materials, and driving piles.

Have been proposed methods and algorithms for plastic and elastic deformation of the metal blanks, briquetting of aluminum and iron filings, sealing iron powder.

Experiments were performed on a laboratory bench for high-speed impacts with rocket power, computer control and communication system. With high-speed camera are captured results of experiments and defined trajectories, speeds and accelerations in different modes.

Experiments were made for briquetting of chips and compacting iron powder. Have been considered new methods for briquetting. With industrial 3D computer tomograph were studied internal structure and density of the resulting metallic materials - billet and briquettes.

Optimal parameters have been identified for controllable impact processes and the treated metal materials to obtain the best physical and mechanical properties. The exact selection and implementation can significantly improve product quality and increase energy efficiency, which actually reduce time and costs in production.

1. A literature review of the application areas of impact processes

Due to the wide variety and field of application of impact machines, in this paper will be considered only those who have a connecti on with industrial applications of the "controlled impact" effect.

1.1. Hammers for ordinary impact

In **Fig.1.1** is shown the design of die forging propelled by compressed air. This type of hammers are currently used in all factories for manufacturing of forgings by die forging. Its structure is composed of many elements, some of which are exposed to a large dynamic forces (piston, piston rod, ram). As a result, they are worn out quickly and need to be repaired or replaced frequently. The impact time is little and the deformation of the billet is small. Therefore to obtain a forging several blows in different die beds are performed. After each blow is received, there are a few rebounds of the ram and the related elements. This means that part of the impact energy is spent on rebound. It is shown in [15] that 3-30% of the impact energy is spent on rebound. If we denote the maximum hammer force with F_m and the deformation force for a single blow with F_d , then:

if $F_m > F_d \rightarrow 3\%$ of the impact energy is spent on rebound;

if $F_d > F_m \rightarrow$ up to 30% of the impact energy is spent on rebound.

Maximum force F_m is received by blow without billet between the dies and can be calculated from expression [16]

$$P_m = 18880 \left(\frac{m}{1.2} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (1.2)$$

where m is the falling parts (positions 5, 8, 9, 10 from **Fig. 1.1**) mass.

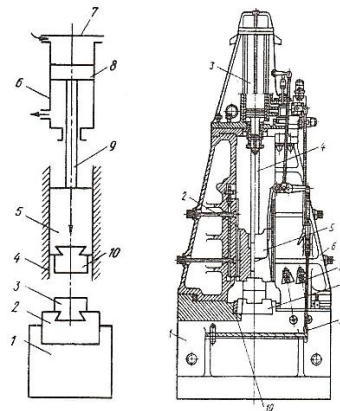


Fig. 1.1. Die forging hammer powered by compressed air:

a) hammer scheme: 1 – anvil, 2 – padding plate, 3 – lower die, 4 – guides, 5 – ram, 6 – double-acting pneumatic cylinder, 7 – protective cover of the cylinder, 8 – piston, 9 – a piston rod, 10 – an upper die;

b) hammer design: 1 – anvil, 2 – guides, 3 – pneumatic cylinder, 4 – a piston rod, 5 – ram, 6 – a frame, 7 – springs, 8 – padding plate, 9 – rod control system, 10 – wedges

When considering the impacting bodies (ram and anvil) as an absolute elastic, according to Hertz's theory the following expressions –for impact time by deformation t_i , time to rebound t_{rb} , maximum power P_m and time to receive the maximum force t_m [15]:

$$t_i = t_{i0} \frac{r_0}{r} \left(\frac{\beta}{\beta_0} \right)^{\frac{2}{5}} \left(\frac{m_1}{m_{10}} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{v_{i0}}{v_i} \right)^{\frac{1}{5}}, \quad (1.3)$$

where: $r = \frac{e^{\frac{6}{5}}}{1+e}$; $\beta = \frac{m_2}{m_1 + m_2}$; ε – elastic deformation of the two bodies; m_1, m_2 – masses of the bodies; v_i – impact velocity; e – coefficient of restitution; index '0' denoted values obtained experimentally for the hammer with a mass of falling parts 1t :

$$P_m = 1.57(1+e)\beta m_1 \frac{v_1}{t_i}, \quad (1.4)$$

$$t_{rb} = \frac{e}{1+e} t_i, \quad (1.5)$$

$$t_m = \frac{t_i}{1+e}. \quad (1.6)$$

In **Table 1.1** are presented the values of P_m , t_i , t_m for hammers with falling parts from 1 to 20 t. It can be seen that with increase of the falling parts, masses t_i and t_m decrease, but the deference $t_i - t_m$ increases.

In [16] it is established experimentally following expression on t_i

$$t_i = 2.32 \frac{\varepsilon_k}{v_i}, \quad (1.7)$$

where ε_k is the plastic deformation at the impact direction in millimeters. For example when $v_i = 6.5$ m/s and $\varepsilon_k = 15$ mm, for t_i is obtained $t_i = 0.00536$ s.

In the 70s and 80s high-speed die forging hammers, which work with an impact speed of 12-18 m/s, were widely spread. At these speeds is obtained modification of the parameters of the deformation process – **Fig.1.2** [17]. From **Fig.1.2.a** it can be seen that the coefficient of friction decreases significantly while the speed increases – as quickly as there is an increase in the speed to 10 m/s : from $\mu = 0.42$ at speed of 1 m/s to $\mu = 0.10$ at speed of 10 m/s for aluminum alloy, and from $\mu = 0.42$ to $\mu = 0.17$ for steel; the same is the character of change of the time for deformation τ . The inertial stresses arise at speed of about 6 m/s and have substantial importance at speed interval 10-20 m/s. From **Fig.1.2.b** it can be concluded that variation of contact pressure depends on the technological process type as the largest variations are in speed to 20 m/s.

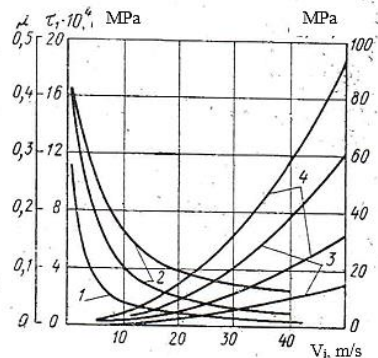
Table 1.1. P_m , t_i , t_m values for hammers with falling parts from 1 to 20 t [16]

Falling parts mass, t	t_i , s	P_m , kN	t_m , s	$t_i - t_m$, s
1	0.00100	18884	0.00064	0.00036
2	0.00126	27762	0.00081	0.00045
3	0.00144	36297	0.00093	0.00051
5	0.00169	50325	0.00109	0.00060
5.5	0.00175	53955	0.00113	0.00062
10	0.00207	70616	0.00134	0.00075
15	0.00245	105948	0.00158	0.00087
20	0.00264	112840	0.00170	0.00094

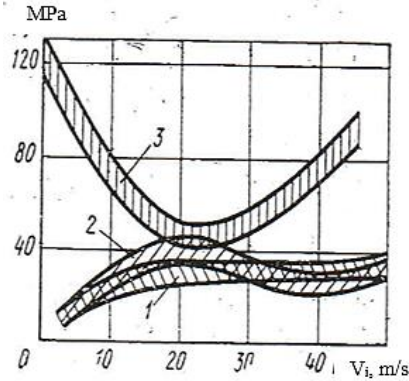
In **Fig. 1.3** is presented design of a high-speed die forging hammer [17]. One major drawback of these hammers is the little durability of the dies. Therefore, the use of this type of hammers is now limited.

There is a great application of impact machines in the construction and mostly for driving in piles. For that purpose pipe diesel hammers are used. In **Fig. 1.4** is shown scheme of action of the pump 14 for submission of diesel fuel in the combustion zone 5. Upon movement of the plunger downward (**Fig.1.4.a**) the lever 10 is actuated which by means of a thumb pressure on the plunger of the fuel pump with the result that in the zone 5 is sprayed certain quantity of diesel fuel. When the hammer piston reaches the down position fuel fire to himself (as in diesel engine). As a result of the explosion, the hammer piston starts to move upwards with decreasing speed until the upper position, in which the speed is zero. Under the action of its own weight the piston begins to move downwards and the cycle is repeated. The hammer works automatically until the pile is driven to the necessary depth. Pile driving hammers are made with the mass of the piston up to 2 t and with impact speed to 5 m/s. For underwater driving, hydraulic hammers are used.

The major drawback of the diesel hammers is that they can drive piles in vertical plane or in a plane inclined at 15 degrees from vertical. In many cases it is necessary to drive under a greater angle, for example strengthening in earthquake areas and installing of drainage pipes.



a)



b)

Fig. 1.2. Diagram amending the basic parameters of deformation process depending on the speed V_i .

a) 1 – time τ for 1 mm deformation of the forging; 2 – friction coefficient at extrusion μ ; 3 – inertial tensile stress; 4 – inertial stress in plastic field at extrusion. The lower curves 2, 3, 4 correspond to the aluminum alloy and above curves correspond to the steel;

b) change of the contact pressure p (the lower curve correspond to the aluminum alloy and above curve correspond to the steel): 1 – at upsetting; 2 – at reverse extrusion of massive forgings; 3 – at reverse extrusion of forgings with thin walls

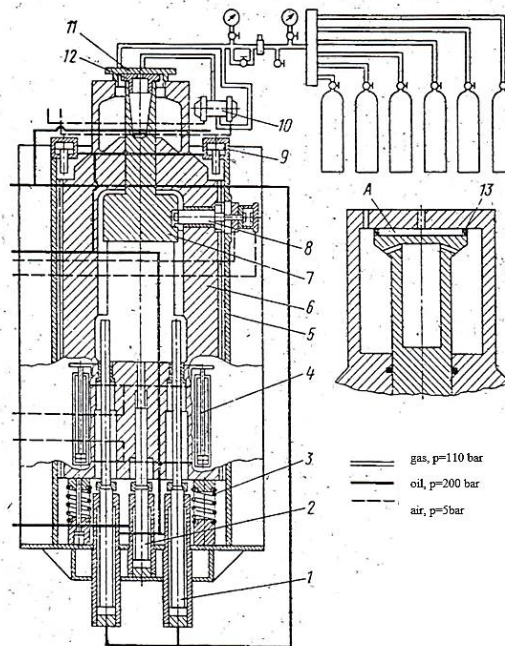


Fig. 1.3. Scheme of high velocity die forging hammer: 1 – reverse hydraulic cylinders; 2 – hydraulic cylinder of the pusher; 3 – spring shock absorbers on the frame 6; 4 – pneumatic cylinders for the front movable wall driven; 5 – stationary frame; 6 – forged moveable frame; 7 – ram forged together with the piston; 8 – security lock; 9 – supporting hydraulic cylinders; 10 – distributor; 11 – cylinder cover; 12 – piston head; 13 – circular packing

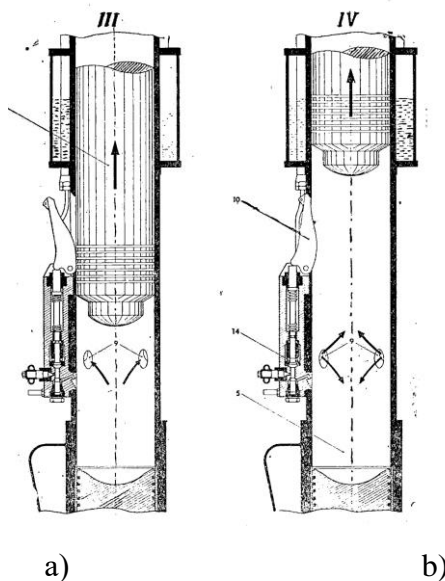


Fig. 1.4. Cycle of the tube double acting diesel hammer for driving piles:
a - stroke down; b - idling up

1.1. Hammers for controlled impact

Hammers for controlled impact are created by the engineer Petar Bodurov. Two types of such hammers are built – hammer for die forging and pile driving hammer. Both are powered by Industrial Rocket Engine (IRE). In **Fig.1.5** is presented a picture of IRE and in **Fig.1.6** a picture of the die forging hammer [13]. The rocket engine works with kerosene fuel and oxidizer compressed air. This engine can also operate with liquid or gaseous hydrogen, or only by compressed air. By adjusting of cases the fuel rate can vary the speed of the falling parts, impact speed V_i and energy E_i . Because of the potential for continued work of a rocket engine after impact conditions are created for amending the nature of operation of the machine. Firstly, if thrust R of the engine is set to be greater than the rebound force PRB will be obtained impact without rebound, called by us “sticking impact”. Secondly, if $R > PRB$ for the time after impact the hammer works as a hydraulic press, i.e. the machine is a combination of hammer and hydraulic press. The ability to change the parameters of impact for the time of impact t_i is the basis for its determination as a “controlled impact”. This question will be discussed in more detail in Chapter 2.



Fig.1.5. Picture of the first Industrial Rocket Engine
with trust $R = 2000$ kg and die forged bevel gear

The features of the design of the rocket engine powered hammer (**Fig. 1.6**) are:

- mass of the ram 220 kg;
- impact speed $V_i = 5-16$ m/s;
- impact energy $E_i = 35$ kJ;
- mass of the anvil 22 t;
- hydraulic pusher in the lower die;
- work cycle 2 s;
- height of fall 1.660 m.

This hammer is used for die forging of bevel gears with a mass of 0.8 kg at impact speed $V_i = 14$ m/s (high velocity forging). In [18] are given the results of a study of different bevel gears die forged on high velocity hammer ($V_i = 14-16$ m/s), in comparison with gears produced by machining. It turns out that the durability of the manufactured on high-speed hammer gears is much greater than the durability of the gears produced by machining.

2. Controlled Impact Theory

In ordinary impact, there are one or more rebounds after the impact – **Fig. 2.1** [19]. From that figure the following impact parameters can be defined: impact force $P_i = 775$ kN; time of the first impact $t_1 = 2.85$ ms; time of impact $t_i = 60$ ms. Other parameters of impact are: impact speed V_i ; impact energy E_i ; coefficient of restitution e ; rebound speed V_{RB} ; rebound force P_{RB} . In the case of impact of body on plate as parameters are used the height of falling H , the height of rebound h , mass of the body m_1 ; mass of the plate m_2 . The following formulas are used for calculating the values of these parameters:

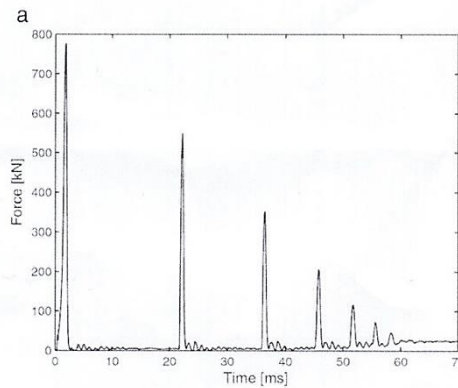


Fig. 2.1. Impact force diagram at ordinary impact of the ram on steel die with $V_i = 12$ m/s

impact energy

$$E_i = \frac{m_1 V_i^2}{2}, \text{ J}; \quad (2.1)$$

rebound energy

$$E_{RB} = \frac{m_1 V_{RB}^2}{2}, \text{ J}; \quad (2.2)$$

coefficient of restitution at impact of body on plate

$$e = \sqrt{\frac{h}{H}} = \frac{V_{RB}}{V_i} = \sqrt{\frac{E_{RB}}{E_i}}; \quad (2.3)$$

coefficient of restitution at impact of two bodies

$$e = \frac{u_2 - u_1}{v_1 - v_2}, \quad (2.4)$$

where v_1, v_2 are the impact velocities and u_1, u_2 are the rebound velocities of the bodies;

impact speed at impact of body on plate

$$V_i = \sqrt{2gH}, \quad (2.6)$$

where g is the gravity constant;

rebound speed at impact of body on plate

$$V_{RB} = \sqrt{2gh}; \quad (2.7)$$

impact force

$$P_i = a_i m_1, \quad (2.8)$$

where $a_i = \frac{dV_i}{dt}$ is the impact acceleration;

rebound force

$$P_{RB} = a_{RB} m_1, \quad (2.9)$$

where $a_{RB} = \frac{dV_{RB}}{dt}$ is rebound acceleration.

In elastic impact, when two impacting bodies are ideal elastic, neither elastic nor kinetic energy is lost. Hence, if H is the falling height, the rebound height $h = H$ and $e = 1$. Also $V_i = V_{RB}$ and $E_i = E_{RB}$. In plastic impact when two bodies are ideally plastic, the energy is spent on plastic deformation. As a result $h = 0$ and $e = 0$; $V_{RB} = E_{RB} = 0$. This means that:

$$0 \leq e \leq 1 \quad (2.10)$$

It was found [20], [21] that at impact in deformed body elastic and plastic waves are spread with the following speed:

for elastic waves

$$v_e = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}, \quad (2.11)$$

for plastic waves

$$v_p = \sqrt{\frac{d\sigma}{\rho d\varepsilon}} = \sqrt{\frac{E_T}{\rho}}, \tag{2.12}$$

where: E – modulus of elasticity; ν - Poisson’s ratio; ρ – mass density; $E_T (=d\sigma/d\varepsilon)$ is the slope of the “stress – strain” curve.

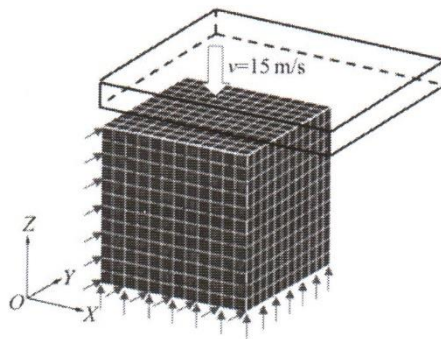
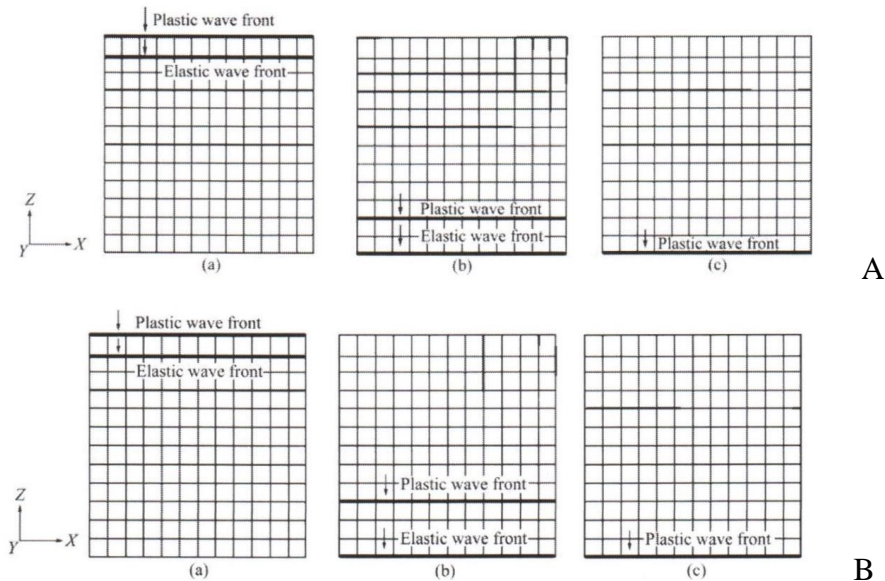


Fig. 2.2. Scheme for FEM of a deformation process in upsetting a body with cubic shape

In [21] is studied the propagation of elastic and plastic waves at impact of plate on the body with cubic shape, using FE modeling – **Fig. 2.2**. Three material types for this body are used: industrial pure lead, OFHC copper; 7039 aluminum alloy.

In **Fig. 2.3** is shown the propagation of elastic and plastic waves in the deformation time for the hstudied materials. It can be seen that the propagation speed of the elastic and plastic waves is closest at lead and differ most at aluminum alloy. As a result of this meeting of the front of the reflected elastic wave and the front of plastic wave was obtained – **Fig. 2.3Cc**.



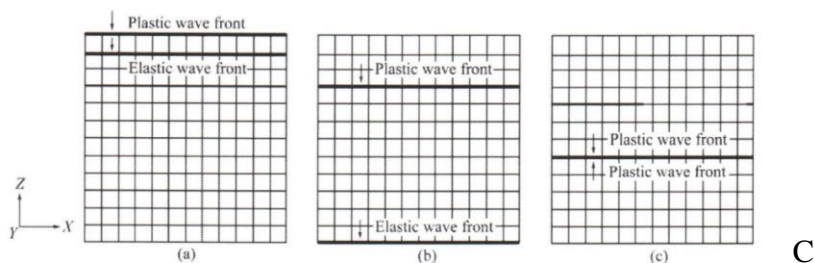


Fig. 2.3. Diagrams for elastic and plastic wave propagation in: **A** – lead: a) $t = 0.14 \times 10^{-4}$ s, b) $t = 0.61 \times 10^{-4}$ s, c) $t = 0.74 \times 10^{-4}$ s; **B** – cooper: a) $t = 0.58 \times 10^{-5}$ s, b) $t = 0.26 \times 10^{-4}$ s, c) $t = 0.37 \times 10^{-4}$ s; **C** – aluminum alloy: a) $t = 0.86 \times 10^{-5}$ s, b) $t = 0.2 \times 10^{-4}$ s, c) $t = 0.3 \times 10^{-4}$ s

This character of the distribution of elastic and plastic waves in different materials affects the behavior of samples in upsetting. In our experimental study, at impact upsetting of lead, cooper and aluminum alloy by using of cylindrical samples were observed different behaviors which can be explained by the distribution of elastic and plastic waves, discussed in [21].

3. Results from laboratory experiments plastic and elastic deformation by flattening in terms of controlled impact. Results analysis. Conclusions

Two types of experimental set-ups are used in experiments for the study of controlled impact. They represent hammers with different ram mass.

In **Fig. 3.1** is presented a photo of set-up with ram mass of 6.0-9.12 kg depending on tool type. The anvil of the device is with mass of 235 kg. The inductive sensors 4, 5 are used to determine the moment of inclusion or exclusion of a cold rocket engine (see **Fig. 3.2**). They send a signal to the electromagnetic valve 8, which opens or closes the compressed air duct. The maximum air pressure is $p = 30$ bar and can be adjusted by regulator 9. Initially the impact speed was measured through the light sensor 11, electronic control 15, device 16, and a specially developed computer program. Due to the relatively high error [25], [27] subsequently the speed was measured by high-speed camera NAC Memrecam HX6 and software Vicsasso 2009.

device 16 is used to set one of the operating mode shown in **Fig. 3.2**. In Regime 1 ordinary impact is realized. The maximum falling height is $H_{\max} = 1.1$ m at which the theoretical impact speed calculated by formula (2.6) is 4.64 m/s but due to the presence of friction in the guides and air resistance the impact speed is 4.1-4.2 m/s. In Regime 2 controlled impact by free fall is realized – the impact speed is the same as by ordinary impact (4.1-4.2 m/s) but the impact force is $P_{i,c} = P_{i,o} + R$. In Regime 3 an ordinary impact with high speed by operation of a rocket engine during the downward movement is realized (during the impact the is For determination of the maximum thrust R of the cold rocket engine, engines with diameter of

critical section 5 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 20 mm were manufactured – **Fig. 3.3** [25]. In **Fig. 3.4** [25] are presented the values of R in these five cases when air pressure is $p = 30$ bar. It is seen that the greatest value of $R = 226$ N is by 12 mm diameter of the critical section of the rocket engine. In **Fig. 3.5** [25] a diagram for change of thrust R with air pressure is presented.

The second experimental device used in our investigations is with mass of the ram 34.6-35.7 kg depending on tool type – **Fig. 3.6** [28]. It can work in the same regimes as those shown in **Fig. 3.2**. Tube 9 is used for lead of the ram. The maximum height of fall is 0.8 m. Mechanism 4 is for keeping in upper position and putting down of the ram 3. The inductive sensors 8 are used to determine the moment of inclusion or exclusion of a cold rocket engine (see **Fig. 3.2**). On the basic plate 9 are fixed bottom tools. These tools are without guides due to very good guide of the ram in the pipe. To set one of the operating modes shown in **Fig.3.2** the same control device 6 as at the experimental set-up shown in **Fig. 3.1**.

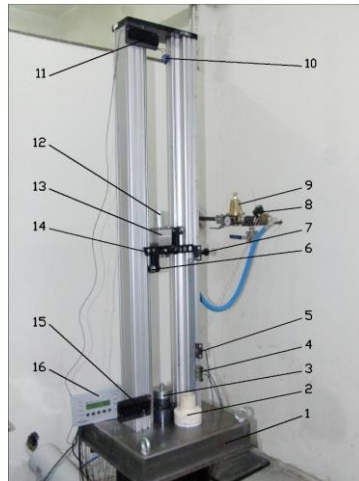


Fig. 3.1. Experimental set-up with ram mass 9.12 kg: 1 - anvil; 2 - bottom element for study of elastic impact; 3 - bottom element for study of elastic - plastic impact; 4, 5 - inductive sensors; 6 - guides; 7 - element for adjusting the fall height; 8 - solenoid valve; 9 - air pressure regulator; 10 - starting sensor; 11 - upper part of light sensor; 12 – cold rocket engine; 13 - ram; 14 - element for actuating a light sensor; 15 - bottom part of light sensor; 16 - electronic control device

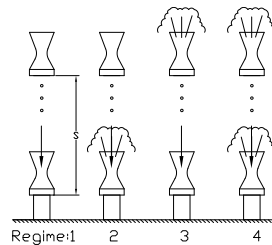


Fig. 3.2. Regimes of the experimental set-up: 1– low-velocity ordinary impact; 2– low-velocity controlled impact; 3– high-velocity ordinary impact; 4– high-velocity controlled impact



Fig. 3.3. Photo of rocket engines with different diameter of the critical section. From left to right: $D_{\text{sect}} = 5$ mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 20 mm (engine is off). The impact speed is calculated according to formula (2.13). The theoretical value is 7.37 m/s (when $R = 226\text{N}$, $m_1 = 9.12$ kg), but the real speed is 6.8-7.0 m/s. In Regime 4 a high-velocity controlled impact is realized

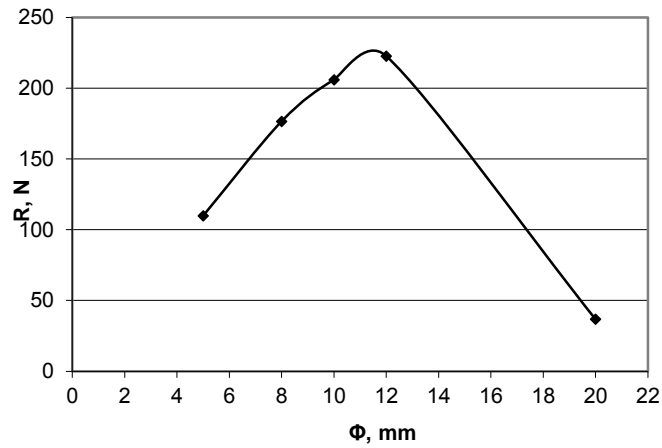


Fig. 3.4. Diagram R - D_{sect} for air pressure 30 bar

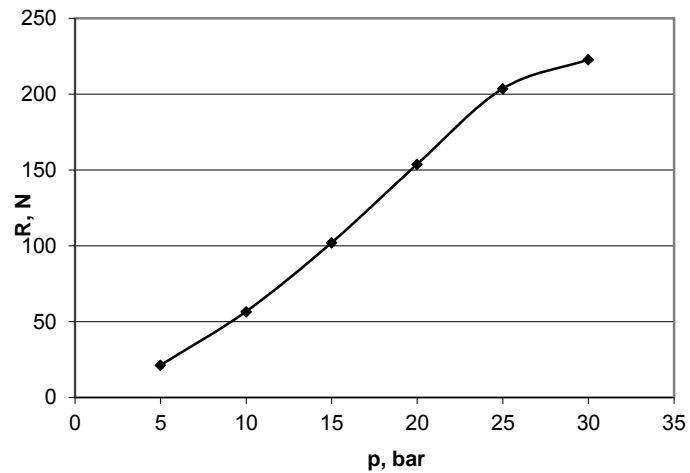


Fig. 3.5. Diagram R-p for rocket engine with critical section diameter 12 mm

4. Results from laboratory experiments for briquetting of metal shavings and compacted iron powder in terms of combined stroke. Results analysis. Conclusions

For briquetting of metal chips are used mechanical and hydraulic presses with nominal force of several hundred to several thousands of kN. To obtain briquettes with good density the ratio H/D for different materials vary within wide limits ($H / D = 0.8-0.25$), where H is the height, and D is the diameter of the briquette. The greater is the density of the briquettes, the smaller are the losses in the transport and melting. Basic data used to evaluate the effect of briquetting operation are specific density of the briquette (ρ), g/cm³, and specific contact pressure for briquetting (p), MPa.

At briquetting with hydraulic presses [32], [33], [39] it is achieved 60-75% briquette's density in comparison with solid material density. The specific pressure reaches values $\rho = 200-400$ MPa, in briquetting of steel chips.

Due to the large size of briquetting presses, large power consumption, and relatively low productivity, methods are sought to improve the efficiency of this process. One such method is high velocity impact briquetting.

4.1. Aim of the experiments

Metal chips and scrap metal from a thin sheet material are subjected to briquetting for two main reasons - more efficient transport and increase the yield in melt in metallurgical furnaces. The greater is the density of briquettes, the greater the economic performance in these two areas. It is therefore a justified desire to search for briquetting technology through which to achieve density briquettes close to the density of the molded metal.

Existing technologies for briquetting with hydraulic presses have reached its limits. Further increasing the power of the press, which would increase the density of briquettes is uneconomic.

Application of hammers (air and high-speed explosives) has not found wide application because of technical problems with the durability of structural elements and prints [34].

In [33] are presented the results of use of high velocity explosive presses for briquetting of metal chips. The obtained briquette's density is: for aluminum alloy - 2.2 to 2.4 (2.7 to 2.75); for carbon steel - 5.0 to 5.5 (7.85); for alloyed steel - 5.0 to 5.5 (7.48 to 8.0) (measure unit -g/cm³). In parentheses is given the density of the respective solid metal. As a major drawback of this briquetting method is the impossibility of process control.

4.2. Methods

The methodology of the experiment includes the following procedures:

- measuring the mass of chips (**m**) per briquetting of laboratory weighing accuracy 0.01 g;
- filling of the container and chips slightly ram for preparing a flat end face.
- briquetting with an impact velocity $V_i = (4.2-7.0 \text{ m / s}) \pm 2\%$ in terms of “ordinary impact” and “controlled impact”. If the speed of impact is outside the limits, the experiment is not taken into account;
- removing the briquettes and measuring its height with precision 0.01 mm (the diameter of all pellets is 20 mm);
 - calculate the volume of briquettes K , cm^3 ;
 - calculate the impact energy E_i , J;
- Calculation of specific energy of the briquettes E_s by formula:

$$E_s = \frac{E_i}{K}, \text{ J/cm}^3. \quad (4.1)$$

- Calculation the density ρ of the briquette according to the formula

$$\rho = \frac{m}{K}, \text{ gr/cm}^3. \quad (4.2)$$

- Measuring the density of briquettes by CT Nikon XTH 225 H.

Diameter of the produced briquettes is 20 mm, as it is the hole of the die for briquetting. Diameter of the punch is 19.6 mm (**Fig. 4.2**). The gap between the die and the punch is left out to ensure exit of the air that remains between the chips in the filling into the die.

Briquetting is carried out using controlled impact and with maximum impact energy of 223 J. In order to investigate their density and structure the obtained briquettes are measured, weighed on an analytical balances and pictured on 3D X-ray tomography (Nikon XTH 225 Compact Industrial CT Scanner) – **Fig. 4.3a**.

Impact process is recorded with a high-speed camera Nac Memrecam HX6 - **Fig. 4.3b**. The video is processed with the software Vicasso 2009 which defines impact speed (V_i) and acceleration (a_i). The impact force P_i and impact energy E_i are calculated by formulas (2.1), (2.8)

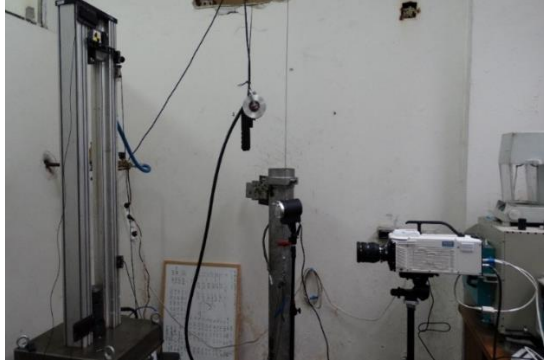


Fig. 4.1. Laboratory set-up (left) with high speed camera Nac HX6

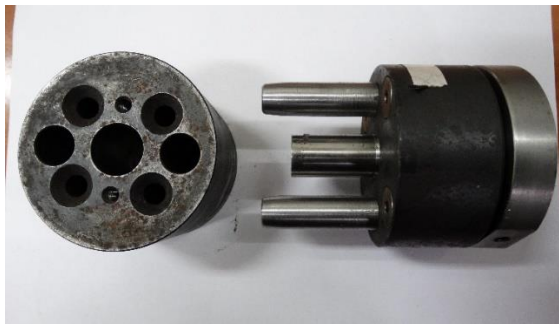


Fig. 4.2. Punch end die for briquetting



Fig. 4.3. Photos of: a) 3D X-ray Nikon XTH 225 Tomograph;
b) High speed camera Nac Memrecam HX6

4.3. Materials for briquetting with “ordinary impact” and with “controlled impact”

Following materials chips for impact briquetting are selected [31], [36]:

- Armco iron with a carbon content of 0.02%;
- 0.45% C carbon steel;
- 3.2% C cast iron;
- an aluminum alloy containing 0.9% Mg and 1.9% Mn;

- 99.9% pure copper;
- 37% Zn containing brass.

In Fig. 4.4 are shown the shapes of the chips and powders. Due to the small diameter of the container opening the chips sizes are small in length, thickness and width.

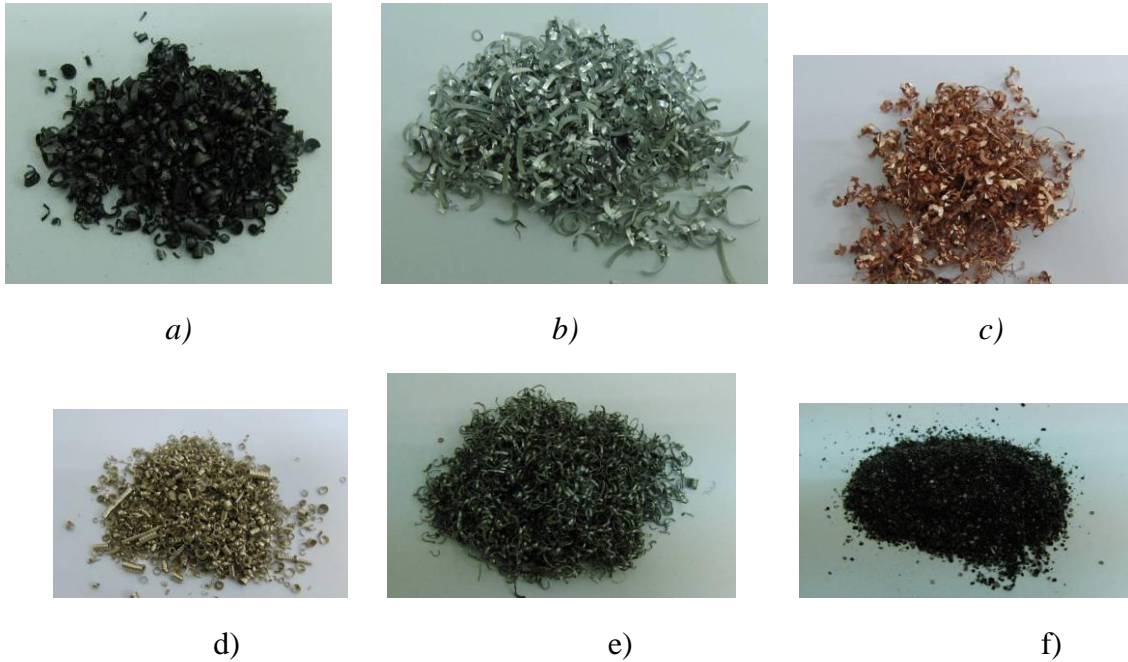


Fig. 4.4. a - steel chips; b - large aluminum alloy chips; c - copper chips; d - brass chips; e- Armco iron chips; f - small cast iron chips

Contribution summary

The contribution of the thesis can be summarized as follows.

1. Analyzed and systematized in its entirety various solutions for high-speed deformation of metals, briquetting of metal scrap and nail pilots
2. An approach to theoretical study of percussion manageable processes equations of motion in external forces and models of the dynamics of collisions bodies
3. Performed numerous experiments on deformation of steel billets, briquetting of metal shavings and metal dust sealing
4. The results of the experiments are verified, analyzed and optimized in order to improve product quality and energy efficiency.
5. A method for assessing the physical and mechanical properties of metallic materials under different parameters of impact processes
6. Has been Defined trajectories, speeds and accelerations in different modes and examined the internal structure and density of the resulting preparations and briquettes.

References

1. Бодуров П., Относно възможността за прилагане на ракетни двигатели при високоскоростни чукове, *Машиностроене*, 4, 1973, с.160-162.
2. Бодуров П., Високоскоростен чукач, Автърско свидетелство 24567/12.04.1978, с приоритет от 05.08.1968.
3. Бодуров П., Устройство за забиване на пилоти, Патент на ПБългария 65331/2008.
4. Бодуров П., Й.Генов, Съоръжения за деформиране на металите с помощта на ракетни двигатели, Научна конференция за обработване на металите чрез пластична деформация, Плевен, 1976, Първа част, с.82-90.
5. Нютон И., Математическите начала на натуралната философия, Москва, Наука, 1989.
6. Голдсмит В., Удар.Теория и физическите свойства на соударяемите тела, Москва, Наука, 1972, 447 с.
7. Goldsmith W., The Coefficient of Restitution, *Bull. Appl. Mech*, 2, 1952, p.10
8. Minamoto H., Kawamura S., Effects of material strain rate sensitivity in low speed impact between two identical spheres, *Int. J. of Impact Engineering*, May 2009, vol.36 issue 5, p.680-686.
9. Cristophorou A.P., Yigit A.S., Effect of flexibility on low-velocity impact response, *J. of Sound and Vibr.*, 1998, 217 (3), pp.563-578.
10. Richardson M.O.W., Wisheart M.J., Review of low-velocity impact properties of composite materials, *Composite, A*, 1996, 27(12), pp.1123-1131.
11. Zhou G., Davies G.A.O., Impact response of thick glass fiber reinforced polyester laminates, *Int. J. of Impact Eng.*, 1995, 16(3), pp.357-374.
12. Clifton R.J., Response of materials under dynamic loading, *Int.J.Solid.Struct.*, 2000,37, pp.105-113.
13. Stronge W.G., *Impact mechanics*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
14. Graham G.A.C., Contribution to Hertz's theory of elastic impact, *Int.J.Eng.Sci*, 1973, 11, pp.409-413.
15. X.Zhang, Loc Vu-Quoc, Modeling the dependence of the coefficient of restitution on the impact velocity in elastic-plastic collision, *Int. J. of Impact Eng.*, 2002, 2, pp.317-341.
16. Chuan-Yu Wu, L.Y.Li, C. Thornton, Energy dissipation during normal impact of elastic and elastic-plastic spheres, *Int. J. of Impact Eng.*, 2005, 32, pp.593-604.
17. Wu C.Y., Finite element analysis of particle impact problems, PhD thesis, University of Aston in Birmingham, 2001.

18. Александров Е.В., Соколинский В.Б., Прикладная теория и расчеты ударных систем, М., Наука, 1969, 200 с.
19. Whirley R.G., Engelmann B.E., DYNA2D, a nonlinear, explicit, two-dimensional finite element code for solid mechanics: user manual, Lawrence Livermore National Laboratory, University of California, 1992.
20. Hunter S.C., Energy absorbed by elastic waves during impact, J.Mech.Phys.Solids, 1957, 8, pp.162-171.
21. Reed J., Energy losses due to elastic waves propagation during an elastic impact, J.Phys.D, 1985, 18, PP.2329-2337.
22. Wu C.Y., L.Y.Li, C.Thornton, Rebound behaviour of spheres for plastic impacts, Int. J. of Impact Eng., 2003, 28, pp.929-946.
23. Li L.Y, Wu C.Y., Thornton C., A theoretical model for the contact of elastoplastic bodies, Proc I Mech E, 2001, 216C, pp.421-431.
24. Stronge W.J., Theoretical coefficient of restitution of planar impact of rough elastoplastic bodies, Impact Waves Fract, ASME, AMD, 1995, 205, pp.351-362.
25. Thornton C., Coefficient of restitution for collinear collision of elastic-perfectly plastic bodies, ASME J. of Appl. Mech., 1997, 64. 383-386.
26. Thornton C., Ning C., A theoretical model for the stick/bounce behaviour of adhesive, elastic-plastic spheres, Powder Technol., 1998, 99, pp.154-162.
27. Jonson K.L., Contact mechanics, Cambridge, Cambridge University Press, 1985.
28. Jonson K.L., An experimental determination of the contact stresses between plastically deformed cylinders and spheres, In: Engineering plasticity, Cambridge, Cambridge University press, 1968, pp.341-361.
29. Mesarovic S.D.J., Thornton C.A., Adhesive contact of elastic-plastic spheres, J. Mech. Phys. Solids, 2000, 48, pp.2009-2033.
30. Goldsmith W., Lyman P.T., The penetration of hard-steel spheres into plane metal surfaces, ASME J. of Appl. Mech., 1960, 27, pp.717-725.
31. Jaquelin E., Laine J.P., Bennani A., Massenzio M., A modeling of an impacted structure based on constraint modes, J. of Sound and Vibration, 2007, 301, 3-5, pp.789-802.
32. Jaquelin E., Laine J.P., Bennani A., Massenzio M., The anti-oscillator model parameters linked to the apparent mass frequency response function, J. of Sound and Vibration, 2008, 312, 4-5, pp.630-643.
33. Pashah S., M.Mssenizio, E.Jaquelin, Prediction of structural response for low velocity impact, Int. J. of Impact Eng., 2008, 35, pp.119-132.
34. Jaquelin E., On the rigid projectile model for low velocity impacts, Int. J. of Impact Engineering, 2009, 36 pp.1006-1011.

35. Shivakumar K.N., Elber W., Prediction of impact force and duration due to low-velocity impact on circular composites laminates, J. of App. Mech., September, 1985, 52, pp.674-680.
36. Abrate S., Modeling of impacts on composite structure, Composite Structures, 2001, 51, pp.129-138.
37. Александров Е.В., Соколинский В.Б., Прикладная теория и расчеты ударных систем, М., Наука, 1969, 200 с.
38. Алимов О.Д., Манжосов В.К., Эремянец В., Удар. Распространение волн деформации в ударных системах, М., Наука, 1985, 356 с.
39. I.Kleis, I.Hussainova, Investigation of particle-wall impact process, Wear, 1999, 233-235, pp.168-173.
40. Walton O.R., Numerical simulation of inelastic, frictional particle – particle interaction, In: Particulate Two-phase flow, Stoneham, 1993, pp.884-911.
41. Пенчев Т., Генов Й., Камбуров В., Технологии за обработване чрез пластична деформация, С., 2007, 117 с.
42. Беляев Ю.В., Возможности улучшения энергосиловых характеристик удара кузнечных молотов, Кузн.-штамп. п-во, 1981, 4, с.21-24.
43. Беляев Ю.В., Силы и распределение энергии при обработке материалов ударным воздействием, Вестник машиностроения, 1974, 4, с.70 – 73.
44. Беляев Ю.В., Экспериментальное исследование нагрузок соударяющихся деталей молотов во время удара, Кузн. – штам. п-во, 1967, 2, с.26 – 30.
45. Беляев Ю.В., Наибольшие нагрузки соударяющихся деталей молотов, Кузн.штамп.п-во, 1970, 8, с.31 – 33.
46. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М., Штамповка на высокоскоростных молотах, М., Машиностроение, 1978, 166 с.
47. Денисенко Г.М., Кирпичев Б.А., Совершенствование оборудования ударного действия, Кузнечно-штамповочное п-во, 1981, 4, с.9 -11.
48. Bakhtar F., The economics of high energy rate forming, Engineer, 1969, 277, No 5902, pp.362-366
49. Glanvill-Jones, Progress in high –energy -rate –forging, J. Inst. Of Metals, 1969, IX, vol.97, pp.257-270.
50. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Тулянкин Ф.В. и др., О связи скоростных параметров оборудования с технологическими параметрами процессов горячей штамповки, Технология легких сплавов, 1970, 5, с.55-60.
51. HERF makes stronger gears, Amer. Mash., 1971, 115, 5, pp.68-70.
52. Охрименко Я.М., Тюрин В.А., Неравномерность деформации при ковке, М., Машиностроение, 1969, 184 с.

53. Непершин Р.И., Даценко В.И., Маттяж В.А., Расчет усилия при высокоскоростном пресовании, Кузн. Шамп. П-во, 1972, 2, с.1-4.
54. Shut A., Turner T.V., Extrusion by a true impact process, Int. J. of Mech., 1963, 5, pp.267-273.
55. Cole B.N., Bghar F., Dynamic effects in very high speed impact exstrusion, Int. J. Mash. Tool Des., 1963, 3, pp.77-95.
56. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Propelling of Forging Hammers, J. of Mater. Processing Technology, 2005, 161, pp.504-508.
57. Баррер М., А. Жмотт и др., Ракетные двигатели, Оборонгиз, 1962.
58. Морголенко А.С., В.П.Цыганов, Г.Д.Селиванов, Новые высокоскоростые кузнечно-пресовые машины, Кузн.штамп.п-во, 1978, 3, с.31-33.
59. Степанов В.Г., Шавров И.А., Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов, Ленинград, Машиностроение, 1975.
60. Георгиев А., Пилотно фундиране, Техника, София, 1973, 154 с.
61. Дзингов Г.А., Божинов Б.И., Пилотно фундиране, С., Техника, 1979, 356 с.
62. Petrasovitz D., Forming of densified zones around piles driven in sand and its effect on bearing capacity, 8PthP Int. Congr. on Soil Mech. And Found., Moskwa, 1973, v.2.1, pp.187-192.
63. Гамал Ел Дин, Зависимост несущей способности свай от свойств глин, Международны конгрес по механике грунтов и фундаментастроение, Мексико, 1966, с.260 – 269.
64. Kezdi A., Bemerkungen zur Anwendung der Pfahlgründungen, Internationales Simposium, Weimar, 1977.
65. Глотов Н.М. и др., Свайные фундаменты, Транспорт, 1975.
66. Божинов Б., Напрегнато състояние на на пилотите през време на забиването, Строителство, 1970, 10.
67. Meyerhof G.G., Uplift resistance of inclined anchors and piles, 8PthP Int. Congr. on Soil Mech. And Found., Moskwa, 1973, v.2.1, pp.187-192.
68. Полищук В.А. и др., Проектирование и применение свай, Киев, 1967, 140 с.
69. Wang Z. J., L. D. Cheng. Effect of material parameters on stress wave propagation during fast upsetting, Transactions of nonferrous metals society of China, 18, (2008), 1189–1195.
70. Wang Z. J., L. D. Cheng. Experimantal research and numerical simulation of the dynamic cylinder upsetting, Material Science and Engineering A, 499, (2009), 138–141.
71. Hallquist J. O. LS-DYNA Theory manual, (2006).

72. Belytchko T. et al. Nonlinear finite elements for continua and structures. John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
73. Rojek J. et al. Advances in FE explicit formulation for simulation of metal forming processes, J. of materials processing technology, 119, (2001), 41-47.
74. A.M.S. Hamouda, Effect of energy losses during an impact event on the dynamic flow stress, Journal of Materials Processing Technology, 2002,124, 209-215.
75. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М., Штамповка на высокоскоростных молотах, М., Машиностроение, 1978.
76. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Proppeling of Forging Hammers, Journaj of Materials Processing Technology, 2005, v.161, 3, 504-508.
77. Penchev T., Karastoyanov D., Altaparmakov I., Experimental Study on “Controlled Impact” Effect in Plastic Deformation Processes, Advanced Materials Research, 2013, v.772, 3-8.
78. Penchev T., Altaparmakov I., Experimental Investigations on “Controlled Impact” Effect, Proceedings of International Conference METAL’13, 15-17.05.2013, Brno, Czech Republic.
79. Penchev T., Karastoyanov D., 30TExperimental Study30T 30Tof Upsetting and Die Forging with Controlled Impact, Proceedings of International Conference on 30TManufacturing Science and Engineering (ICMSE’14)30T, 17-18 April, 2014, Lisbon, Portugal.
80. 30TГьошев С., Пенчев Т., Карастоянов Д., 30TПриложение на высокоскростна камера за определяне параметрите на ударни процеси, Национална Конференция „Машиностроене и машинознание”, 09 – 10. 09.2014, Варна.
81. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Proppeling of Forging Hammers, Journaj of Materials Processing Technology, 2005, v.161, 3, 504-508.
82. Бодуров П., Относно възможността за прилагане на ракетни двигатели при высокоскоростни чукове, Машиностроене, 4, 1973, с.160-162.
83. Penchev T., Karastoyanov D., Altaparmakov I., Experimental Study on “Controlled Impact” Effect in Plastic Deformation Processes, “Advanced Materials Research”, 2013, v.772, 3-8.
84. Penchev T., Altaparmakov I., Experimental Investigations on “Controlled Impact” Effect, Proceedings of International Conference METAL’13, 15-17.05.2013, Brno, Czech Republic.
85. Penchev T., Karastoyanov D., 30TExperimental Study30T 30Tof Upsetting and Die Forging with
86. 30TControlled Impact, Proceedings of International Conference on 30TManufacturing Science and Engineering (ICMSE’14)30T, 17-18 April, 2014, Lisbon, Portugal.
87. Chuan-Yu Wu, Long-Yuan Li, Colin Thortnton, Energy dissipation during normal impact of elastic-plastic spheres, International Journal of Impact Engineering, 2005, 32, p. 593-604.

88. Penchev T., Altaparmakov I., Experimental Investigations on “Controlled Impact” Effect, International Conference METAL 2013, Brno, 15-17.05, 2013.
89. Пенчев Т., Алтъпармаков И., Експериментално изследване на брикетиране с удар на метални стружки, Международна научна конференция МТФ’2012, 18-20.10. 2012, ТУ-София, България.
90. Степанов В.Г., Оборудование для обработки металлов высокоэнергетическими методами, Ленинград, Машиностроение, 1978,
91. Степанов В.Г., Шавров И.А., Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов, Ленинград, Машиностроение, 1975.
92. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Propelling of Forging Hammers, Journal of Material Processing Technology, 2005, 161, 504-508.
93. Gustavson G. at all., Experimental studies and modeling of high –velocity loaded iron-powder compacts, Powder Technology, 2014, 268, 293-305.
94. Doremus P. at all., High-velocity and conventional compaction of metallic powders: comparison of process parameters and green compact properties, Proc. IMechE 224 E, 2010, 117-185.
95. Scoglund P., High density PM parts by high-velocity compaction, Powder Metallurgy, 2001, 44, 199-202.
96. Dore F. at all., High velocity compaction: Overview of material, Applications and Potential, Materials Science Forum, Trans Tech Publications, 2007, 293-296.
97. Поляков А.П., Влияние параметров динамического нагружения на характер распространения ударных волн в порошке, Изв. ВУЗ, Цветная металлургия, 2009, № 1, 30-34.
98. Penchev T., Karastojanov D., Monov V., Control System for “Controlled Impact” Laboratory device, Proceedings of the Third IEEE International Conference on Information Science and Technology, March 23-25, 2013, Jiangsu, China, 215-219.
99. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М., Штамповка на высокоскоростных молотах, М., Машиностроение, 1978.



АВТОРЕФЕРАТ НА ДИСЕРТАЦИЯ

за присъждане на образователна и научна степен “доктор” по научна специалност “Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“

ИЗСЛЕДВАНЕ НА УПРАВЛЯЕМИ УДАРНИ ПРОЦЕСИ

Станислав Димитров Гьошев

Ръководител: Проф. Димитър Карастоянов

Научно жури:

Проф. Тодор Нешков
Проф. Любомир Димитров
Проф. Костадин Костадинов
Проф. Галя Ангелова
Проф. Димитър Карастоянов



Институт по информационни и
комуникационни технологии

Секция „Вградени интелигентни технологии“

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на секция „Вградени интелигентни технологии“ на ИИКТ-БАН, състояло се на 15 юли 2016 г.

Дисертацията съдържа 144 стр., включващи фигури, таблици, приложения и литература, съдържаща 99 заглавия.

Защитата на дисертацията ще се състои на2016 г. от часа в зала 507 на блок 2 на ИИКТ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

1. Проф. дмн. Галя Ангелова
2. Проф. д-р Тодор Нешков
3. Проф. д-р Любомир Димитров
4. Проф. д-р Костадин Костадинов
5. Проф. д-р Димитър Карастоянов

Материалите за защитата са на разположение на интересуващите се в стая 215 на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 25А.

Автор: *Станислав Димитров Гьошев*

Заглавие: *ИЗСЛЕДВАНЕ НА УПРАВЛЯЕМИ УДАРНИ ПРОЦЕСИ.*

Цел и задачи

В предоставения дисертационен труд се разглеждат проблеми, свързани с високо скоростни управляеми ударни процеси. Поставената цел в този труд е да се изследват възможностите за качествени и енергийно ефективни деформация на метали и уплътняване на метални материали посредством високоскоростни управляеми удари с помощта на ракетно задвижване.

Отчитайки извършения анализ и поставената цел са формулирани следните задачи:

1. Да се анализират различните високоскоростни решения за деформация на метали, брикетиране на метален скрап и забиване на пилоти
2. Да се предложат подходи за теоретично изследване на различни методи и средства за реализация на управляеми ударни процеси.
3. Да се обоснове ползването на прототип (стенд) с развита сензорна, управляваща и комуникационна система за експерименти в лабораторна среда.
4. Да се проведат експерименти за деформация, брикетиране и уплътняване на образци с различни метали и метални материали
5. Да се предложи методика за оценка физикомеханичните свойства на металните материали при различни параметри на ударните процеси.
6. Да се предложи алгоритъм за избор на режим за цифрово заснемане на високоскоростните ударни процеси на деформация и брикетиране.

Публикации на докторанта по темата на дисертацията

На Международни конференции в чужбина:

1. S. Gyoshev, D. Karastoyanov, L. Doukovska, I. Kalaykov., Inter Criteria Decision Making Approach for Metal Chips Briquetting., Fifth International Symposium on Business Modeling and Software Design, 6-8 July 2015, Milan, Italy, pp 297-301, ISBN 978-989-758-111-3
2. Gyoshev S., Penchev T., Karastoyanov D., High speed briquetting of metal chips using rocket engine., INASE in Zakynthos, Greece, July 16-20, 2015, pp 172-177, ISSN: 1790-5117, ISBN: 978-1-61804-321-4.
3. Gyoshev S., Karastoyanov D., Penchev T., Experimental study of iron metal powder compacting by controlled impact, ICSD 2015 : 17th International Conference on Soil Dynamics, 6 – 7 August, 2015, Amsterdam, Netherlands, pp 114-117, eISSN: 1307-6892
4. Gyoshev S., Karastoyanov D., Penchev T., Study the Influence of the Type of Cast Iron Chips on the Quality of Briquettes Obtained with Controlled Impact, ICSD 2015 : 17th International Conference on Soil Dynamics, 6 – 7 August, 2015, Amsterdam, Netherlands, pp 118-121, eISSN: 1307-6892

На Международни конференции у нас:

5. Gyoshev S., High speed briquetting of metal chips and powders. International Conference Robotics, Automation and Mechatronics'15 RAM 2015, Sofia, Bulgaria, November 05, 2015., pp. 55-59, ISSN 1314-4634
6. С. Гьошев, Изследване и лабораторни експерименти на ефекта от брикетиране на алуминиеви и чугунени стружки., XXV МНТК – АДП 2016, 23 -26 юни 2016 г. Созопол, България,
7. Gyoshev S., Study of parameters of controlled impact by impact deformation of elastic materials., John Atanasoff Celebration Days, International Conference “Robotics, Automation And Mechatronics” RAM 2014, November 5-7 2014, Sofia, Bulgaria, p. 46-50, ISSN 1314-4634
8. Gyoshev S., Penchev T., Advanced computing for high speed briquetting of metal chips and powders. International Conference Robotics, Automation and Mechatronics'15 RAM 2015, Sofia, Bulgaria, November 05, 2015., pp. 44-49, ISSN 1314-4634
9. 15. С. Гьошев, Д. Карастоянов., Експериментално изследване на процеса „уплътняване на железен прах“, XXIV МНТК – АДП 2015, 18 -21 юни 2015 г. Созопол, България, стр. 140-147, ISSN 1310-3946

В Списание у нас

10. Гьошев С., Пенчев Т., Карастоянов Д., Приложение на високоскоростна камера за определяне параметрите на ударни процеси., Националната конференция по Машиностроене и машинознание, Варна 2014, 8-9 Септември, стр. 95-100, ISBN: 987-619-167-178-6, Списание Механика на машините, книга 1, 2015, бр.109, стр. 38-41, ISSN 0861-9727

Цитати:

1. Цитиран труд:

D. Karastoyanov, L. Doukovska, S. Gyoshev, I. Kalaykov., Inter Criteria Decision Making Approach for Metal Chips Briquetting., Fifth International Symposium on Business Mideling and Software Design, 6-8 July 2015, Milan, Italy, ISBN 978-989-758-111-3, pp 292-296

Място на цитиране:

Пенчев Т., Стоименов Н., Алтапърмаков И., Управляем удар: експериментални резултати при пластична деформация, 28-ма Международна научна конференция на Машинно-технологичния факултет на Технически университет – София, 11-13 септември 2015 г. Созопол, България, стр. 151-156, ISBN: 987-619-167-178-6

2. Цитиран труд:

С. Гъшев, Д. Карастоянов., Експериментално изследване на процеса „уплътняване на железен прах“, XXIV МНТК – АДП 2015, 18 -21 юни 2015 г. Созопол, България, ISSN 1310-3946, стр. 140-147

Място на цитиране:

Пенчев Т., Стоименов Н., Алтапърмаков И., Управляем удар: експериментални резултати при пластична деформация, 28-ма Международна научна конференция на Машинно-технологичния факултет на Технически университет – София, 11-13 септември 2015 г. Созопол, България, стр. 151-156, ISBN: 987-619-167-178-6

3. Цитиран труд:

S. Gyoshev., Study of parameters of controlled impact by impact deformation of elastic materials., John Atanasoff Celebration Days, International Conference “Robotics, Automation And Mechatronics” RAM 2014, November 5-7 2014, Sofia, Bulgaria, ISSN 1314-4634, pp 46-50

Място на цитиране:

Пенчев Т., Стоименов Н., Алтапърмаков И., Управляем удар: експериментални резултати при пластична деформация, 28-ма Международна научна конференция на Машинно-технологичния факултет на Технически университет – София, 11-13 септември 2015 г. Созопол, България, стр. 151-156, ISBN: 987-619-167-178-6

УВОД

Изследванията свързани с удар между две тела получават първоначална теоретична обосновка във фундаменталният труд на Нютон „Математически начала на натуралната философия” [5]. В резултат на проведени експерименти за удар, след свободно падане на сферични тела в масивна плоча, той въвежда „коэффициент на възстановяване” e , който и днес има голямо приложение в тази област. Следващите разработки определят две области за изследване на ударни явления:

- удар, при който не се отчитат вълнови процеси, тъй като енергията изразходвана за генериране на вълни е пренебрежимо малка. Тук се отнасят случаите на удар между две сфери и удар между свободно падаща сфера и масивна неподвижна плоча;
- удар, при който се наблюдава възникване и разпространение на вълни в контактуващите тела. Към тази област се отнасят случаите на челен удар по прът, напречен удар по греда или система от греди, удар по мембрана.

В Глава 1 е направен литературен обзор на областите за приложение на ударните процеси.

В Глава 2 е направена теоретична обосновка на „управляем удар“ и са предложени иновативни решения за подобряване качеството и намаляване енергийните разходи при използване на ударни процеси.

В Глава 3 са дадени резултати от лабораторни експерименти за еластична и пластична деформация, като е показано действието на „управляем удар“. Показани са предимствата на „управляемия удар“ спрямо „обикновен удар“.

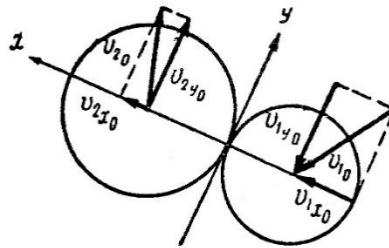
В Глава 4 са направени експерименти за брикетирание на стружки и уплътняване на железен прах. Разгледани са нови методики за брикетирание.

ГЛАВА 1. Литературен обзор за областите на приложение на ударни технологични процеси.

1.1. Основни зависимости от механиката на удар

1.1.1. Класически разглеждания за удар на сфера

Изследванията в настоящата работа са свързани с конкретни технологични процеси, при които се използват ударни сили: обемно шамповане на чукове, брикетирание и забиване на пилоти. В първите два процеса не се отчитат вълнови процеси. При забиване на пилоти се нанасят последователни челни удари върху пилот (прът) с дължина 6 -12 метра в резултат на което в пилота възникват и се разпространяват надлъжни вълни. Следователно в настоящата работа е необходимо да се изследват теоретично и експериментално ударни процеси и от двете области, при допълнително въздействие на силата прилагана от Индустриален Ракетен Двигател (ИРД).



Фигура 1. Схема на скоростите при централен удар на постъпателно движещи се сфери, за случая $f \neq 0$

Теоретичните разглеждания на ударните явления при централен удар на две сфери и при удар на сфера по масивна плоча се базират на зависимости получени при използване на скоростите на движещите се тела преди и след удара. На фиг.1 е показана схемата при централен удар на две сфери. Ако сферите са идеално гладки (коэффициента на триене $f = 0$), тангенциалните компоненти на скоростите след удара също са нула. При $f \neq 0$ тангенциалните компоненти на скоростите са различни от нула. На фигурата и в по нататъшните разглеждания скоростите на двете сфери V_1, V_2 преди удара са означени с индекс 0, а след удара с индекс f . Масите на двете тела са съответно m_1, m_2 .

Като се използват зависимостите за импулса на силите в момента на удара, за коефициента на възстановяване e при удар на две сфери, се получава [1,2,3,4,5,6]

$$e = \frac{(V_{2,xf} - V_{1,xf})}{(V_{1,x0} - V_{2,x0})} \quad (1.1)$$

При идеално твърди тела $V_{1,x0} = V_{1,xf}$; $V_{2,x0} = V_{2,xf}$ и $e = 1$. При идеално пластични тела $V_{1,xf} = V_{2,xf}$ и $e = 0$.

За случая на удар на сфера по неподвижна масивна плоча $V_{2,x0} = V_{2,xf} = 0$ и за коефициента на възстановяване се получава (ако се разглеждат абсолютните стойности на съответните скорости)

$$e = \frac{(V_{1,xf})}{(V_{1,x0})} \quad (1.2)$$

Първоначално с е приемало, че коефициентът на възстановяване зависи само от свойствата на материала на удрящите се тела. По-точните пресмятания, че този коефициент зависи и от масата, формата и относителните скорости на удрящите се тела [7]. Например, в [8] е показано, че коефициентът на възстановяване има по-големи стойности при удар на две сфери от материал, чувствителен към скоростта на деформация, отколкото при материал нечувствителен към този параметър. [7]

1.2. Ударни технологични процеси за пластична деформация

Чуковете за коване са първите производствени машини задвижвани с пара. От създаването им през 1837 г от Джеймс Несмит (James Nasmyth) до сега те не са претърпели съществени изменения. Чуковете за горещо обемно шамповане, които конструктивно се различават от чуковете за коване, се използват за получаване на детайли със сложна форма в няколко прехода (до 4 прехода). Съвременните конструкции чукове за коване се задвижват със сгъстен въздух, а чуковете за шамповане с въздух или течност под налягане.

Най-големи производители са Русия, Германия, Англия и САЩ. На фиг. 4.а [19] е показана конструкция на съвременен чук за шамповане, задвижван със сгъстен въздух.

Като типично ударни машини чуковете се характеризират със следните основни показатели: енергия на удара (в кJ), маса на падащите части (в t) и скорост в момента на удара (в m/s). Въздушните чукове имат скорост на удара 5-9 m/s, а хидравличните 3-5 m/s, при маса на падащите части до 50 t (най-често 1.5 – 25 t).

В резултат на ударното натоварване при работа възникват еластични вълни, които се разпространяват в частите на конструкцията. В зависимост от собствената честота на отделните части, те поглъщат определена E_v част от енергията на удара E

$$E = \frac{mV^2}{2}, \text{ кJ}, \quad (1.19)$$

където m (N) е масата на падащите части, а V (m/s) е скоростта на тези части в момента на удар.

В работите е показано, че най-голяма част от E_v се поглъща от частите с най-ниска честота на трептене (наковалня). В зависимост от степента на претоварване на машината енергията за разпространение на еластични вълни е в границите на 3 – 30 % [2], като колкото по-голямо е претоварването, толкова по-голям е този процент. Поради

това в [42] се препоръчва да се работи със сили, които са по-малки от максималната сила P_m (силата, която се получава при удар без заготовка).

Силата P_d се изчислява от технолозите при разработване на технологичния процес за шамповане. Вижда се, че при чук с малка маса на падащите части Q_1 (до 4.5 t) $P_m \geq P_d$. Това означава, че пресметнатата сила за деформиране ще бъде по-малка от максималната сила, т.е. чука няма да се претоварва и енергията за разпространение на вълни ще бъде около 3 % - пренебрежимо малка. При чукове с маса на падащите части над 4.5 t винаги ще има претоварване и голяма част от енергията E ще се изразходва за разпространение на еластични вълни: до 30 % при $Q_1 = 25$ t.

Това означава, че за да се получи необходимата степен на деформация ще трябва да се нанасят няколко удара, при всеки от които се получава претоварване на елементите на чука (в най-голяма степен се претоварва буталния прът, което води до разрушаването му и чести смени).

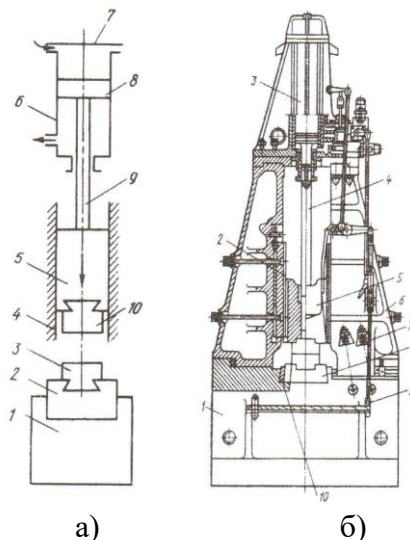
Въз основа на експериментални и теоретични изследвания са получени следните приблизителни изрази [20, 21, 22, 23, 24]:

за кривата P_m

$$P_m = 18880 \left(\frac{Q_1}{1.2} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (1.20)$$

за времето на удара без заготовка (най-малко време за удар) t_y

$$t_y = 0.001 \left(\frac{Q_1}{1.2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (1.21)$$



Фигура 2. а) пневматичен чук за шамповане: а) схема на чук: 1 – наковалня, 2 – подложна плоча, 3 – долна щампа, 4 – направляващи, 5 – бойник, 6 – двойно действащ пневматичен цилиндър, 7 – предпазен капак на цилиндъра, 8 – бутало, 9 – бутален прът, 10 – горна щамп

1.3. Брикетирание на метални стружки с удар

Технологичният процес на брикетирание се използва за уплътняване на насипни метални частици (стружки, окалина и друг отпадък от металургичното производство), дървени стружки, дървен или въглищен прах, при което се получават брикети с различна форма (най-често цилиндрична). За да се получат брикети с достатъчна плътност и якост при дървените и въглищни брикети се добавят свързващи вещества (до 10 % от масата на брикета), а при металните брикети свързващите вещества се използват само в отделни случаи. Високоскоростно брикетирание се използва само в случаите на метални брикети.

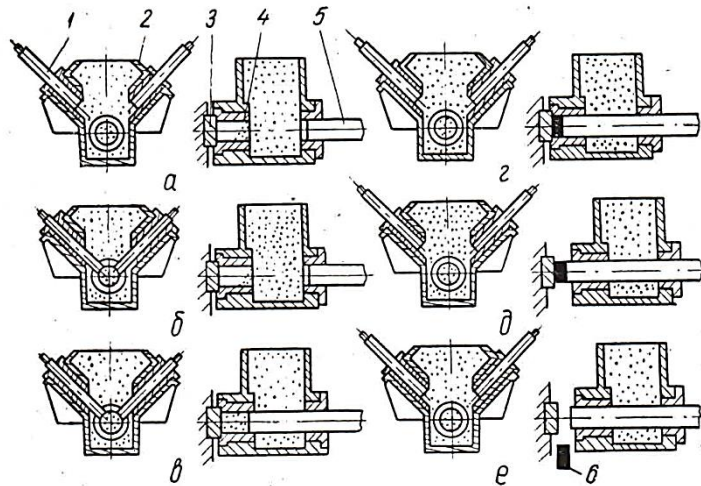
В настоящия момент за получаване на брикети от метални стружки или други метални частици се използват механични или хидравлични преси, комплектовани с устройства за автоматично дозиране. Тези брикети се произвеждат само с цилиндрична форма. Поради нееднаквата структура на насипните стружки, дозиращите устройства не могат да осигурят достатъчно точно дозиране, в резултат на което се получава неравномерно запълване на матрицата. Механичните преси (колянови и ексцентрикови) имат точно определен ход, поради което се получават брикети с различна плътност. При хидравличните преси разликата в дозировката се отразява само на височината на брикетите, като плътността е постоянна. Поради това хидравличните преси за брикетирание са намерили по-широко разпространение от механичните, като са разработени конструкции на вертикални и хоризонтални хидравлични преси. Хоризонталните преси са по-лесни за автоматизация, затова се предпочитат пред вертикалните. Освен това, при хоризонталните хидравлични преси може да се осъществи както едностранно, така и двустранно уплътняване на материала. На фиг. 6 [63] е показана схема за брикетирание на хоризонтална хидравлична преса с едностранно уплътняване.

В Таблица 2 [63] са дадени технически параметри на хоризонтални хидравлични преси за брикетирание, с различна максимална сила, действаща върху уплътняващото бутало. Вижда се, че това са големи машини, с маса няколко десетки тона и мощност на двигателя стотици киловати. С нарастване на силата производителността (t/h) нараства, но след това намалява, въпреки увеличените размери и маса на един брикет. Това се дължи на намаляване скорост на преместване на уплътняващото бутало с нарастване на силата.

Стружките, които се получават в достатъчно големи количества, за да се подложат на брикетирание, са от: различни видове стомани, включително и легирани стомани; чугун; алуминий (чист алуминий и алуминиеви сплави); мед и месинг. Във военните заводи се получават в големи количества стружки от титанови и молибденови сплави.

Таблица 2. Технически характеристики на хоризонтални хидравлични преси за брикетирание

Сила, KN	2500	6300	12500
Налягане, bar	200	160	160
Маса на брикет от чугун, kg	2.5	12	31
Диаметър на брикета, mm	100	150	230
Производителност, t/h	1.5	12	8
Мощност, kw	31	112	285
Маса, t	9	27	92



Фигура 3. Схема за уплътняване на стружки на хоризонтална хидравлична преса за брикетирание: а – изходно положение; б – преместване на трабовъчните поансони; в – начало на уплътняване в матрицата; г – край на уплътняването; д – изваждане на брикета; е – отвеждане

1.5. Същност и теоретични основи на управляем удар

За изпълнение целта на настоящата работа е необходимо да се проведат следните теоретични изследвания в областта на механиката на ударни процеси:

- определяне силата на отскока $P_{отс}$, след края на движение на удрящото тяло надолу (скоростта на движение надолу е равна на нула). Тази сила е в резултат на действие на еластични деформации, които зависят от коефициента на възстановяване e . При известна сила $P_{отс}$ може да се определи необходимата реактивна сила R , за да се регулира ударния процес в желаните граници;

- определяне скоростта на удар V_0 при:

а) действие на допълнителна сила R през различни етапи на движение на падащото тяло;

б) различни закони на съпротивление на средата в която се движат удрящите се тела.

Това е необходимо за да може да се пресметне енергията на удара при експериментални изследвания и при изследване на разглежданите технологични приложения (обемно щамповане, брикетирание, забиване на пилоти на суша и под вода).

1.5.1. Определяне силата на отскока $P_{отс}$ на щамповъчен чук

Силата на отскока може да се определи по закона на Нютон $F = m \cdot a$, ако се изведе формула за пресмятане на ускорението при удар a_y . При идеално еластични тела ($e = 1$) цялата енергия се изразходва за еластична деформация поради което може да се приеме, че силата на отскока ще бъде равна на силата на удара F_y , т.е.

$$P_{отс} = F_y = m a_y, \quad (1.31)$$

където m е масата на удрящото тяло (падащите части на машината). При $0 < e < 1$ част от енергията се изразходва за пластична деформация, която част е толкова по-голяма, колкото по-малки стойности има коефициентът на възстановяване e (при идеално пластично тяло, когато $e = 0$ цялата енергия на удара се изразходва за пластична деформация). В този случай ускорението a_y ще зависи от коефициента e , т.е. $a_y = f(e)$ и

$$P_{отс} = F'_y = m a_y(e). \quad (1.32)$$

За определяне на ускорението $a_y(e)$ използваме квадратното уравнение (1.89) за скоростта на отскок на наковалнята на щамповъчен чук $V_{1,1}$, от което се получава

$$V_{1,1} = \frac{2e \cdot m_2 \cdot V_{2,0} + \left(4e^2 m_2^2 V_{2,0}^2 - 4m_2 V_{2,0}^2 (m_1 + m_2) (\eta_i + e^2 - 1)\right)^{1/2}}{4(m_1 + m_2)} \quad (1.33)$$

където: $V_{2,0}$ е скоростта на удара; m_1 , m_2 са масата на наковалнята и на падащите части съответно; η_i – к.п.д. на удара.

След преобразуване на (1.33) се получава

$$V_{1,1} = \frac{V_{2,0} \left(e^2 m_2^2 - m_2 (m_1 - m_2) (\eta_i + e^2 - 1)\right)^{1/2}}{2(m_1 + m_2)} \quad (1.34)$$

За $V_{2,0}$ се получава

$$V_{2,0} = \sqrt{2gS \left(\frac{R}{m_2} + 1\right)} \quad (1.35)$$

ГЛАВА 2. Теория на управляем удар.

2.1. Цел на изследванията

За изпълнение целта на настоящата дисертация е необходимо да се проведат следните теоретични изследвания в областта на механиката на ударни процеси:

- определяне силата на отскока $P_{отс}$, след края на движение на удрящото тяло надолу (скоростта на движение надолу е равна на нула). Тази сила е в резултат на действие на еластични деформации, които зависят от коефициента на възстановяване e . При известна сила $P_{отс}$ може да се определи необходимата реактивна сила R , за да се регулира ударния процес в желаните граници;

- определяне скоростта на удар V_0 при:

а) действие на допълнителна сила R през различни етапи на движение на падащото тяло;

б) различни закони на съпротивление на средата в която се движат удрящите се тела.

Това е необходимо за да може да се пресметне енергията на удара при експериментални изследвания и при изследване на разглежданите технологични приложения (обемно шамповане, брикетирание, забиване на пилоти на суша и под вода).

2.2. Определяне силата на отскока $P_{отс}$ на шамповъчен чук

2.2.1. Кинематичен подход

Силата на отскока може да се определи по закона на Нютон $F = m \cdot a_y$, ако се изведе формула за пресмятане на ускорението при удар a_y . При идеално еластично тяло, което се удря в идеално твърдо тяло ($e = 1$) цялата енергия се изразходва за еластична деформация на удрящото тяло, поради което може да се приеме, че силата на отскока ще бъде равна на силата на удара F_y , т.е.

$$P_{отс} = F_y = m a_y, \quad (2.1)$$

където m е масата на удрящото тяло (падащите части на машината). При $0 < e < 1$ част от енергията се изразходва за пластична деформация, която част е толкова по-голяма, колкото по-малки стойности има коефициентът на възстановяване e (при идеално пластично тяло, когато $e = 0$ цялата енергия на удара се изразходва за пластична деформация). В този случай ускорението a_y ще зависи от коефициента e , т.е. $a_y = f(e)$ и

$$P_{отс} = F'_y = m a_y(e). \quad (2.2)$$

При машинни чукове удрящата (падаща част - бойник) и удряното тяло (наковалня) може да се приемат като идеално-еластични тела. Между тях се поставя нагрятата до висока температура (900 – 1200 °С) стоманена заготовка (най-често), която е с голяма пластичност и претърпява големи пластични деформации. Установено е, че в този случай коефициентът на възстановяване e е в границите $e = 0.05 - 0.30$. Тъй като количеството отдадена енергия за деформация, представяно с к.п.д. на удара η зависи

от отношението M/m , където M е масата на наковалнята, а m е масата на бойника, то при по-нататъшните разглеждания се вземат пред вид и тези параметри.

За определяне на ускорението a_y използваме квадратното уравнение (1.89) за скоростта на отскок на наковалнята на шамповъчен чук $V_{1,1}$, от което се получава

$$V_{1,1} = \frac{2em_2V_{2,0} + [4e^2m_2^2V_{2,0}^2 - 4m_2V_{2,0}^2(m_1 + m_2)(\eta_i + e^2 - 1)]^{1/2}}{4(m_1 + m_2)}, \quad (2.3)$$

където: $V_{2,0}$ е скоростта на удара; m_1, m_2 са масата на наковалнята и на падащите части съответно; η_i – к.п.д. на удара.

След преобразуване на (2.3) се получава

$$V_{1,1} = \frac{V_{2,0}(em_2 + [e^2m_2^2 - m_2(m_1 + m_2)(\eta_i + e^2 - 1)]^{1/2})}{2(m_1 + m_2)}, \quad (2.4)$$

2.2.2. Енергетичен подход

При удар на тяло в неподвижна идеално твърда плоча и идеално еластичен материал на падащото тяло с маса m (коефициентът на възстановяване $e = 1$, $h = h_1$) за баланса на енергията преди и след удара се получава [29, 30, 31, 32, 33]

$$\frac{mV_0^2}{2} = P_{отс}h \quad (2.14)$$

където $P_{отс}$ е силата на отскок, а h е височината на падане. За силата на отскока се получава

$$P_{отс} = \frac{mV_0^2}{2h}. \quad (2.15)$$

При еластично-пластичен удар $0 < e < 1$ и като се вземе пред вид, че $e^2 = h_1/h$, където h_1 е височината на отскока, за h се получава $h = h_1/e^2$. След заместване в (2.15) ще получим

$$P_{отс} = \frac{me^2V_0^2}{2h_1}. \quad (2.16)$$

При $e = 1$ (2.16) преминава в (2.15), тъй като за еластичен отскок $h_1 = h$, а при $e = 0$, $P_{отс} = 0$.

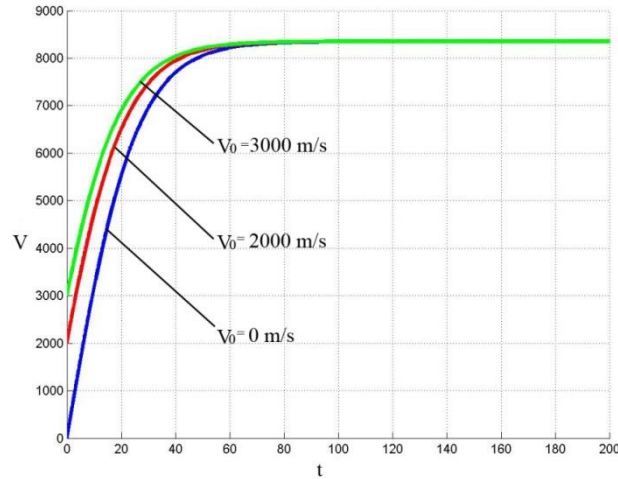
Формула (2.16) може да се използва за определяне силата на отскока, ако по експериментален път са получени данни за височината на отскока h_1 .

2.3.4. Уравнения за движение на чук задвижван с ИРД

А. Силата на съпротивлението зависи от квадрата на скоростта

а) Случай $V < \beta$

$$h = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{ch[\beta(\alpha t + C_1)]}{ch[\beta C_1]}, \quad C_1 = \frac{1}{\beta} \operatorname{arth}\left(\frac{V_0}{\beta}\right).$$



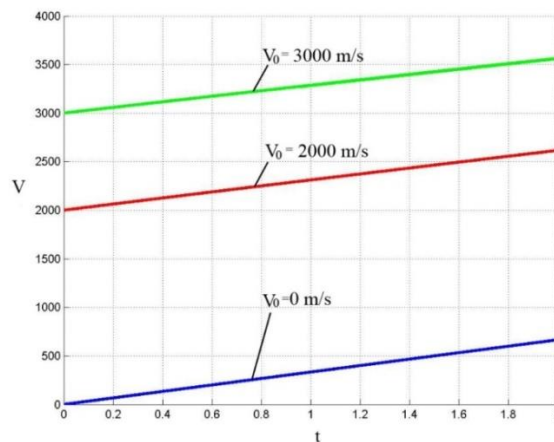
Фигура 4. Графично представяне изменението на скоростта, когато съпротивлението на средата зависи от квадрата на скоростта, при $V < \beta$ и $t \in [0, 200]$

б) Случай $V > \beta$

$$h = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{sh[\beta(\alpha t + C_2)]}{sh[\beta C_2]}, \quad C_2 = \frac{1}{\beta} \operatorname{arth}\left(\frac{V_0}{\beta}\right). \quad (2.41)$$

Б. Силата на съпротивлението зависи линейно от скоростта

$$h = \frac{1}{\alpha} \ln \left(V_0 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) (1 - e^{-\alpha t}) + \frac{\gamma}{\alpha} t. \quad (2.42)$$



Фигура 5. Графично представяне изменението на скоростта, когато съпротивлението на средата зависи от квадрата на скоростта при $V < \beta$ и $t \in [0, 2]$

2.6.2. Изследване влиянието на скоростта на удара върху параметрите на деформационния процес при сплескване

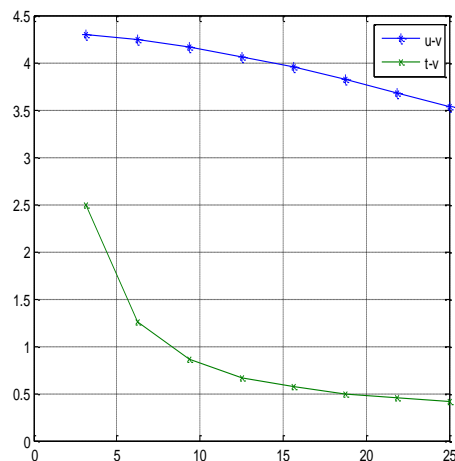
Изследван е цилиндричен оловен образец с диаметър 28 mm и височина 42 mm ($H/D = 1,5$). Материалните характеристики на образца са: модул на еластичност на линейните деформации $E = 17$ GPa; коефициент на Поасон $\nu = 0.42$; константи в зависимостта (1) $k = 38.1391$ MPa, $n = 0.2742$; обемна плътност $\rho = 11340$ kg/m³. За коефициента на триене по контактните повърхнини е приета стойност $\mu = 0.5$. Разгледани са случаи при различна начална скорост V и маса m на бойника (Таблица 2.3) така, че кинетичната енергия да се запази постоянна със стойност $E_k = 47.46$ J.

В Таблица 8 са отразени и получените от симулацията стойности за u_{max} ($u_{max} = H_0 - H_K$, където H_0 , H_K са началната и крайна височина на деформирания образец), времето за това сплескване t^* и формата на деформираното надлъжно сечение на заготовката (използвани са означенията: Б – бъчвообразна форма, Б-Г – бъчвообразно-гъбообразна форма, Г – гъбообразна форма).

Графиките на зависимостите $u_{max} - V$ и $t^* - V$ са показани на фиг. 32. От тях следва, че сплескването на образца слабо намалява с увеличаване на началната скорост на удара, като за целия интервал на изменение на скоростта намалението е около 18 %. Това би могло да се обясни чрез теоремата за кинетичната енергия, приложена за чука. Според нея началната кинетична енергия на това тяло (постоянна при всички скорости) е равна на работата на контактната сила. Ако се проследи изменението на тази сила (фиг. 32) се вижда, че в началния интервал тя има импулсен характер, като максимумът ѝ се увеличава с увеличаване на началната скорост на удара, докато по-нататък нейната стойност почти не зависи от скоростта. Следователно средната стойност на контактната сила при по-големи скорости ще се увеличава и за да бъде работата ѝ постоянна, преместването трябва да намалява.

Таблица 8. Параметри и резултати от симулациите

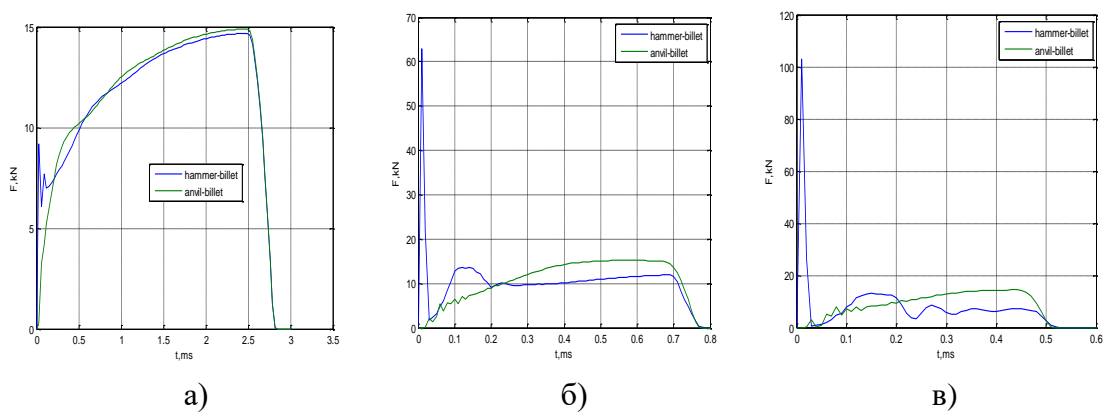
V (m/s)	m (g)	u_{max} (mm)	t^* (ms)	форма
3.125	9720	4.2919	2.49	Б
6.25	2430	4.2464	1.26	Б
9.375	1080	4.1665	0.86	Б
12.5	607.5	4.0643	0.67	Б-Г
15.625	388.8	3.9505	0.57	Б-Г
18.75	270.0	3.8229	0.5	Б-Г



Фигура 6. Зависимост на u_{max} и времето t^* от началната скорост на удара

Времето за деформация намалява бързо с увеличаване на началната скорост на удара, като при скорост 25 m/s намалението е приблизително 84 %, в сравнение с времето за деформация със скорост на бойника 3,125 m/s. За този случай обяснение може да се даде, като се използва теоремата за импулсите, приложена за бойника. От нея следва, че времето за сплескване зависи обратно пропорционално от произведението на началната скорост на бойника и средната стойност на контактната сила. При увеличаване на скоростта, както по-горе беше обяснено, нараства и средната стойност на контактната сила, следователно времето за сплескване ще намалява.

При по-малките начални скорости на удара формата на деформиране на образеца е бъчвообразна. Като причина за това може да се посочи наличието на сравнително голямо триене по контактните повърхнини и



Фигура 7. Изменение на контактните сили действащи върху бойника и Върху наковалнята за времето на деформация: а) $V = 3.125 \text{ m/s}$, б) $V = 12.5 \text{ m/s}$, в) $V = 21.875 \text{ m/s}$

възможност за по-големи радиални премествания в средната по височина част на образеца. С увеличаване на началната скорост на удара образецът придобива комбинирана бъчвообразно-гъбообразна форма. В този случай се оформят две области: в средната има големи радиални премествания, а по горната контактна повърхнина локалните радиални премествания не могат да бъдат ограничени от силите на триене. При най-големите скорости материалът в горната част се деформира по-интензивно, отколкото в долната и средната и формата на образеца става гъбообразна.

На фиг. 33 е показано изменението с течение на времето на контактните сили върху чука и върху наковалнята при деформиране на образеца за най-малката, средната и най-голямата начална скорост в изследвания интервал.

ГЛАВА 3. Резултати от лабораторни експерименти за пластична и еластична деформация чрез сплескване в условия на комбиниран удар. Анализ на резултатите. Изводи.

3.1. Въведение удар пластично тяло

При еластично – пластични тела обикновенния удар се характеризира с това, че енергията на удара $E_y = m.V_y^2 / 2$ (J), където m (kg) е масата на удрящия елемент, а V_y (m/s) е скоростта на удар, се изразходва за еластична E_e и пластична деформация E_d на деформираното тяло, за еластична деформация на деформиращия инструмент $E_{и}$, за отскок на удрящия елемент E_o , за генериране на шум и вибрации $E_{ш}$ и за преодоляване на триенето по контактните повърхнини $E_{тр}$, т.е.

$$E_y = E_e + E_d + E_{и} + E_o + E_{ш} + E_{тр}. \quad (3.1)$$

В работата [1] е показано, че загубите $\sum E_z = E_e + E_{и} + E_o + E_{ш} + E_{тр}$ може да бъдат най-много 20 % от E_y .

В случая на сплескване на цилиндрични образци, деформиращият инструмент се състои от две твърди успоредни плочи-горна и долна плочи, като долната е неподвижна, а горната плоча пада от зададена височина h . В моментана на удара на подвижната плоча в деформираното тяло, възниква ударната сила силата P_y , която нараства до максимална стойност, при достигане на крайно дилно положение на плочата ($V_y = 0$). В първия момент на контакт се генерират еластични вълни, а след развитие на контактна пластична деформация и на пластични вълни. Те се разпространяват по дължината на тялото със скорост V_e –за еластични и V_p – за пластични вълни. Стойностите на V_e и V_p зависят от еластичните и пластични характеристики на материала на деформираното тяло. Освен разгледаните до тук ефекти при скорост на удара над 5 m/s трябва да се вземе пред вид и влиянието на допълнителни инерционни сили, възникващи в обема на деформираното тяло [42-46].

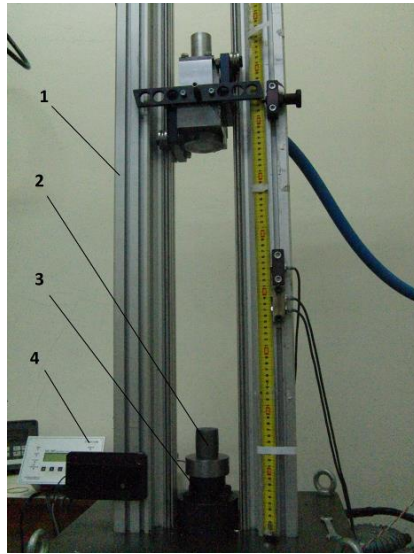
Ако към падащата част се приложи допълнителна сила P' , се създават условия за изменение на параметрите на ударния и деформационен процеси [48]. Като се изменени големината на допълнителната сила P_d може да се променят параметрите на ударния процес, до предварително зададени стойности. Този вид удар се дефинира като „управляем удар”.

Техническото решение за получаване на управляем удар при машини с ударно действие (чукове), е чрез използване на промишлен ракетен двигател [1]. Тази идея е реализирана от инж.Петър Бодуров [56]. В Лаборатория „Изследване на технологични ударни процеси” към ТУ-София са проведени изследвания за ефекта от приложение на управляван удар при различни процеси на пластична деформация [49-52]. Установено е значително нарастване на степента на деформация при използване на този ефект. В изследванията са взети пред вид само някои параметри на ударния процес – скорост на деформация и коефициент на възстановяване, поради затруднения за използване на датчици за измерване на други параметри, като ускорение и сила на удара, времетраене на удара. Например, ако искаме да измерваме ускорението на удар чрез съществуващите акселометри, трябва да се знаят границите на изменение на този

параметър, тъй като датчиците работят в определени граници – до 10 g, до 100 g, до 1000 g ,..., до 100000 g, където g е земното уск. В настоящото изследване за определяне параметрите на ударния процес се използва високоскоростна камера и специализиран софтуер към нея. Това прави възможно измерване на всички параметри на ударния процес и по-точно определяне на ефекта от приложение на управляем удар при пластична деформация чрез сплескване.[53-55]

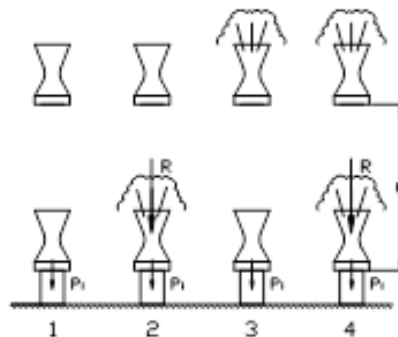
3.1.1. *Опитна уредба*

За провеждане на експериментите се използва стенд показан на фиг.39. За получаване ефекта на управляем удар се използва студен ракетен двигател



Фигура 8. Стенд за изследване на ударни процеси: 1 – колони; 2 – образец; 3 - долна твърда плоча; 4 – електронно устройство за избор режима на работа

задвижван от сгъстен въздух. Налягането на въздуха е до 30 бара. Максималната сила на двигателя (тяга) е 226 N. Маса на падащата част е $m = 6.17 \text{ kg}$, а максималната височина на падане е 1.1 m. Получаваната скорост на удара е в границите 2.8 – 7.8 m/s. Студения ракетен двигател се използва както за ускоряване на падащата част, така и за прилагане на допълнителна сила през време на удара, в зависимост от избрания режим на работа – Фиг.40.



Фигура 9. Режимы на работа на студен ракетен двигател: 1 – обикновен удар (свободно падане с изключен двигател); 2 – управляем удар при свободно падане; 3 – обикновен удар с ускоряване на падащата част; 4 – управляем удар с ускоряване на падащата част.

Деформацията се осъществява при максимално триене по контактните повърхнини. За да се постигне това деформиращите плочи са обработени с голяма грапавост.

3.1.4. Резултати от експерименти за сплескване на цилиндрични образци от олово с различно отношение H/D

Използваните при тези експерименти образци са с $H_0/D_0 = 1.2; 1.5; 1.8$ и постоянен обем $K_0 = \text{const.} = 4.786 \text{ cm}^3$ – Таблица 12. Технологиата за получаване на образците е същата както в Раздел 3.1.3.

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 свободен удар – Режим 2 и при комбиниран удар - Режим 3 от Фиг.40. Скоростта на удара е в границите $V_y=2,90 - 8,80 \text{ m/s} \pm 2 \%$ и е еднаква съответните експерименти при двата режима.

$$e = \sqrt{\frac{H_{отс}}{H}} = \frac{V_{отс}}{V_y}, \quad (3.7)$$

където: H е височина на падане на подвижните части, m ; $H_{отс}$ е височина на отскока след удара m ; $V_{отс}$ е скоростта на отскока, m/s .

Целта на изследването е да се установи какво е влиянието на отношението H/D върху параметрите на процеса в условията на „комбиниран удар“.

• Анализ на резултатите

От фиг.42 се вижда, че при деформация на образци с едно и също отношение H_0/D_0 с нарастване на специфичната енергия E_c степента на деформация ϵ получавана в условията на „комбиниран удар“ е по-голяма в сравнение със степента на деформация при „свободен удар“. От данните в Таблица 10 се установява, че съществена разлика между степента на деформация при двата вида удар се наблюдава при $\epsilon > 15.5 \%$ ($E_c \geq 3.0 \text{ J/cm}^3$). В този случай степента на деформация ϵ при „комбиниран удар“ е по-голяма от степента на деформацията при „обикновен удар“ с 9.07 % - 14.55 %, при едни и същи стойности на E_c . При $\epsilon < 15.5 \%$ ($E_c < 3.0 \text{ J/cm}^3$) разликата е в границите 2.38 % - 6.05 % и може да се приеме за несъществена.

Тези резултати са получени при големина на тягата на студен ракетен двигател 22 kg, действаща през време на комбинирания удар. Очаква се, при по-голями стойности на тягата на ракетния двигател да се получат по-голями разлики в степента на деформация ϵ . Това ще се изследва при провеждане на полупромишлените експерименти от програмата на настоящия проект.

Ако се разгледа кривата при „свободен удар“ от фиг.42 се вижда, че с нарастване на специфичната енергия степента на деформация ϵ_{cy} нараства. В този конкретен случай получената крива се апроксимира с добра точност с уравнението

$$\epsilon_{cy} = 5.17 E_c - 0.185 E_c^2, \% . \quad (3.8)$$

При промяна на отношението $H_0/D_0 = 1.2; 1.8$ наблюдаваната разлика $\Delta\epsilon$ в степента на деформация за двата вида удар е много по-голяма, отколкото при $H_0/D_0 = 1.5$ - Таблица.2.5. Разликата $\Delta\epsilon$ се определя от зависимостта

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{ky} - \varepsilon_{oy} , \quad (3.9)$$

където ε_{ky} и ε_{oy} са относителните деформации, %, при комбиниран удар и при обикновен удар, съответно.

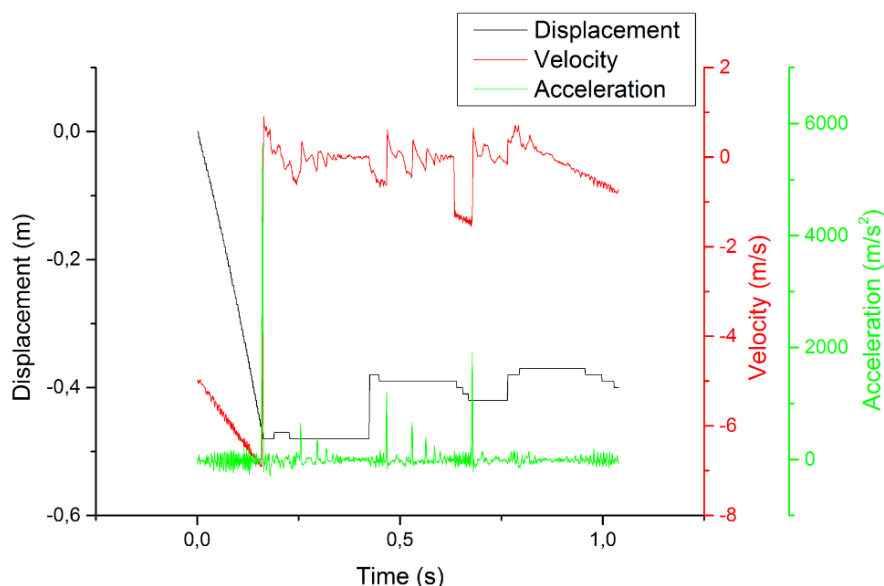
Изводи

От получените експериментални резултати и направеният анализ може да се направят следните изводи, относно влиянието на ефекта „комбиниран удар” върху деформационния процес при сплескване.

- За количествено оценяване на ефекта „комбиниран удар ” при пластична деформация е удобно, да се използва параметъра „специфична енергия” E_c , който представлява енергията на удара за един кубичен сантиметър от обема на деформираната заготовка и се измерва в J/sm^3 .
- При $H_0/D_0 = const.$ с нарастване на скоростта на удара V_y и на специфичната енергия на удар E_c се увеличава разликата $\Delta\varepsilon$ между относителните степени на деформация ε при „обикновен удар” и „комбиниран удар” – фиг.42. Зависимостта $E_c - \varepsilon$ са случая на „обикновен удар ” и при $H_0/D_0 = 1.5$ може да се представи с уравнение (3.8).
- Установено е, че разликата $\Delta\varepsilon$ се влияе силно от отношението H_0/D_0 . Най-голяма е тази разлика при $H_0/D_0 = 1.2$ като достига стойност $\Delta\varepsilon_{max} = 84.1\%$, а най-малка при $H_0/D_0 = 1.5$. Това е в сила при изменение на E_c в границите $0.58 - 5.11 J/sm^3$.
- При сравняване на диаграмите за изменение на $\Delta\varepsilon$ – фиг.47 и за изменение на височината на отскока $h_{отск}$ – фиг.45 се установява, че при отношение $H_0/D_0 = 1.2$, за което отношение разликата в големината на отскока при деформиране в условията на «обикновен удар» и в условията на «комбиниран удар» е най-голяма, ефекта от деформиране с «комбиниран удар» е най-голям. Това се дължи на намаляване на еластичната компонента на деформацията и увеличаване на пластичната компонента при деформиране в условията на «комбиниран удар».
- Като резултат от тези разглеждания са представни в общ вид зависимостите за изменение на относителната деформация при „обикновен удар ” ε_{oy} – уравнение (3.10) и при „комбиниран удар” ε_{ky} – уравнение (3.11).
- Установено е, че с увеличаване скоростта на удар V_y големината на отскока (и на коефициента на възстановяване e) намалява, независимо от отношението H_0/D_0 . При използваната в експериментите максимална тяга на студен ракетен двигател $R = 22 \text{ kg}$ за $V_y \geq 7.4 \text{ m/s}$ се получава удар без отскок, т.н. „прилепващ удар”, независимо от отношението H_0/D_0 .
- Най-голям отскок (и коефициент на възстановяване e) при „обикновен удар” се получава при отношение $H_0/D_0 = 1.2$, а най-малък отскок се получава при $H_0/D_0 = 1.8$. За отношението $H_0/D_0 = 1.5$ отскокът има средни стойности между другите два случая – фиг.45 и фиг.46. Това се дължи на влиянието на този параметър върху процеса на разпространение на еластични и пластични вълни при пластична деформация с удар.

3.1.5 Резултати от втора серия експерименти за пластична деформация чрез сплескване на цилиндрични образци от олово с постоянно отношение H/D

На Фиг.48 е показана получената диаграма за изменение на пътя S , скоростта V_y и ускорението a_y при деформация с обикновен и контролиран удар, за случая на падане от височина $h = 1.1$ m при Режим 1 (обикновен удар - $V_y = 3.8$ m/s) и Режим 2 (контролиран удар - $V_y = 3.6$ m/s). Разликата в скоростите при двата режима е 0.5 %, а в енергията на удар 1 %. От тези диаграми може да се отчитат следните особености на деформационния процес при двата вида удар.



Фигура 10. Изменение на пътя, скоростта и ускорението при скорост : а – обикновен удар ($V_y = 3.8$ m/s); б – управляем удар ($V_y = 3.6$ m/s)

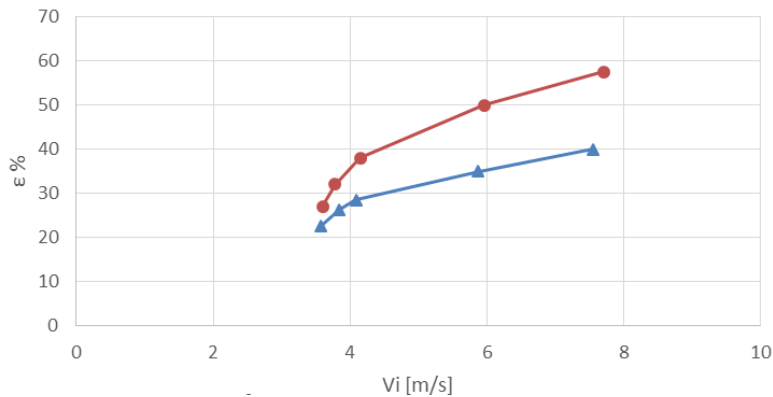
- Времето t_y за протичане на ударния процес до неговото затихване при контролиран удар е с 0.022 s (0.8 %) по-малко, от времето при обикновен удар. Това е един от ефектите на деформация с контролиран удар. Той зависи от тягата на ракетния двигател – колкото по-голяма е тягата, толкова по-голяма ще бъде тази разлика.

- От диаграмите на Фиг.48 за изменение на пътя се вижда, че и в двата случая няма отскок. Това се обяснява с много малката стойност на отскока, която не може да бъде хваната при използваната скорост на заснемане. Практически оловото се държи като идеално - пластично тяло, което се обеснява с малкия модул на еластичност $E = 17.6$ GPa (200 - 220 GPa за стомана).

- И в двата случая затихването на скоростта до нула, е съпроводено с малки изменения около тази стойност. Това се обяснява с разпространението на еластични и пластични вълни по дължина на образеца. Характера на изменение на скоростта в интервала до затихване на движението е различен за двата режима. Вижда се, че при контролиран удар измененията около нулевата точка са по-разтеглени. Това означава, че разпространението на еластичните и пластичните вълни по дължина на образеца става с по-малка скорост, отколкото при свободен удар. Намаляване скоростта на еластичните и пластични вълни е друг ефект на контролирания удар, който също зависи от тягата на ракетния двигател.

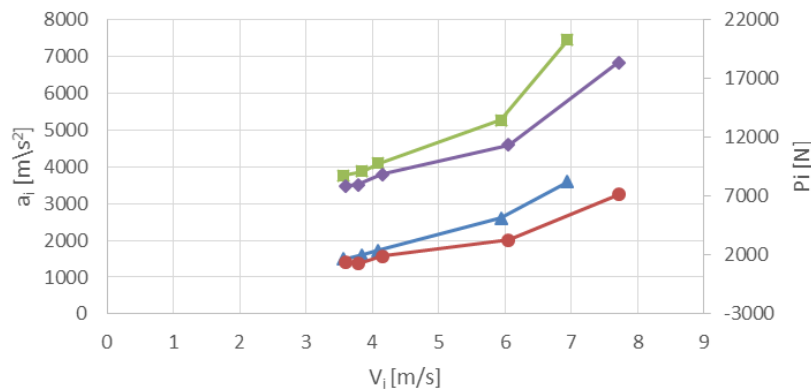
• От диаграмите на Фиг.48 за изменение на ускорението се отчита, че при контролиран удар ускорението на удара е с 22.2 m/s^2 (1.6 % или 2.6 g, където g е земното ускорение) по-малко от ускорението при обикновен удар. Абсолютната стойност на ускорението в този случай е около 1400 m/s или около 147 g .

Важен резултат от това изследване е установеното нарастване на степента на деформация ϵ при сплескване с контролиран удар, в сравнение с деформацията при обикновен удар, при една и съща енергия на удар (скорост на удар) – Фиг.49. Вижда се, че с нарастването на скоростта на удар този ефект нараства: разликата $\Delta\epsilon = \epsilon_{уп} - \epsilon_o$, където $\epsilon_{уп}$, ϵ_o е относителната деформация при управляем и при обикновен удар съответно, е $\Delta\epsilon = 4.5 \%$ при $V_y = 2.8 \text{ m/s}$; $\Delta\epsilon = 15 \%$ при $V_y = 6 \text{ m/s}$; $\Delta\epsilon = 17 \%$ при $V_y = 7.8 \text{ m/s}$.



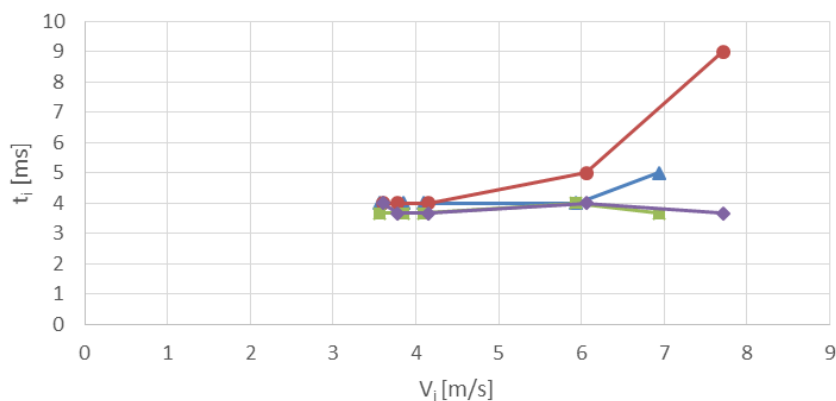
Фигура 11. Зависимост $\epsilon - V_y$ при обикновен удар и при комбиниран удар

Нарастването на ϵ при деформация с управляем удар е свързано с по-малко ускорение на удар a_y и сила на удар P_y , в сравнение с обикновен удар – фиг.50. Този ефект е съществен при $V_y \geq 5 \text{ m/s}$, като с нарастване на скоростта на удар разликите $\Delta a_y = a_o - a_{уп}$; $\Delta V_y = V_o - V_{уп}$ нарастват. Например, при $V_y = 5 \text{ m/s} \rightarrow \Delta P_y = 1250 \text{ N}$; $V_y = 7 \text{ m/s} \rightarrow \Delta P_y = 2500 \text{ N}$. С нарастване на скоростта на удар ускорението и скоростта нарастват по абсолютна стойност и при $V_y = 7 \text{ m/s} \rightarrow a_y = 7500/5800 (a_o/a_{уп}) \text{ m/s}^2$; $P_y = 8750/6250 (P_o/P_{уп}) \text{ N}$.



Фигура 12. Изменение на ускорението a_i и силата на удар P_y

Този резултат е много важен, тъй като е свързан с трайността на деформиращите инструменти (щампи). Намаляването на силата на удара P_y при деформация с управляван удар, определя намаляване на напреженията в щампите и повишава тяхната трайност.



Фигура 13. Изменение на времето за удар: обикновен удар; управляем удар

— Ordinary Impact — Controlled Impact

От Фиг.51 се вижда, че при $V_y \geq 5$ m/s започва съществено нарастване на времето на удар при управляем удар $t_{уп}$, в сравнение с времето при обикновен удар t_o , което при скорости над 6 m/s започва да намалява. При $V_y = 7$ m/s $\rightarrow \Delta t = t_{уп} - t_o = 3.33$ ms (нарастване на времето за удар с 66 %). С този резултат може да се обясни нарастването на деформацията ϵ при управляем удар, въпреки намаляване на силата на удар $P_{уп}$. Увеличеното време на действие на деформиращата сила, води до увеличаване на времето за пластично течение на материала на заготовката. Освен това нарастването на изброените по-горе ефекти с нарастването на скоростта на удар V_y над определена стойност (в случая при $V_y \geq 5$ m/s), е свързано и с възникване в обема на деформирувания материал на натискови инерционни напрежения. В работата [2] скоростта от 5 m/s също е определена като долна граница за възникване на натискови инерционни напрежения при горещо деформиране на стомана и алуминий. Поддържане действието на тези напрежения за по-дълъг период от време при управляван удар, води до по-голяма степен на деформация, въпреки по-малките стойности на действащите сили $P_{уп}$ от тези при обикновен удар P_o .

• Заключение

От направените експериментални изследвания беше установено, че при пластична деформация чрез сплескване в условията на управляем удар, се получава съществено изменение на параметрите на процеса, в сравнение с деформация с обикновен удар. Основните разлики са следните.

- При една и съща енергия и скорост на удара при управляем удар се постига нарастване на относителната степен на деформация при сплескване ϵ в границите 4.5 % - 17 % в зависимост от скоростта на удар.
- Това нарастване на деформацията се постига при намаляване на силата за деформиране $P_{уп}$, в сравнение с силата P_o при обикновен удар.

- Посочените ефекти при управляем удар силно се влияят от скоростта на удар V_y . Това може да се обясни с увеличаване на времето на удара $t_{уп}$, в резултат на което се удължава процеса на деформиране, както и с по-продължителното действие на пластични инерционни напрежения на натиск в обема на
- Съществено влияние на инерционните напрежения се наблюдава при $V_y \geq 5$ m/s. Тази стойност следва да се приеме за долна граница, над която тези напрежения трябва да се взимат пред вид, не само при деформиране на олово но и при гореща деформация на стомана и алуминий [2].
- Намаляването на силата за деформиране при управляем удар $P_{уп}$ определя намаляване на напреженията в деформиращия инструмент (щампа), което води до увеличаване на трайността му, в сравнение с деформация с обикновен удар.

ГЛАВА 4. Резултати от лабораторни експерименти за брикетирание на метални стружки и уплътняване на железен прах в условия на комбиниран удар. Анализ на резултатите. Изводи.

4.1. Цел на експериментите

Метални стружки както и метални отпадъци от тънък листов материал се подлагат на брикетирание поради две основни причини – по-ефективно транспортиране и повишаване на рандемана при разтопяване в металургични пещи. Колкото по-голяма е плътността на получаваните брикети, толкова по-голяма е икономическата ефективност в тези две направления. Поради това е оправдан стремежа за търсене на технологии за брикетирание, чрез които да се постигне плътност на брикета близка до плътността на монолитен метал.

Съществуващите технологии за брикетирание с хидравлични преси са достигнали границите на възможностите си. Понататъшно увеличаване мощността на пресите, което би довело до увеличаване плътността на брикетите е икономически неизгодно. [62]

Приложението на чукове (въздушни и високоскоросни взривни) не е намерило широко приложение поради технически проблеми, свързани с трайността на елементи на конструкцията и на шампите.

Според получените резултати от експериментите за пластична деформация дадени в и Глава III на настоящата работа, има основание да се твърди, че при ударно въздействие върху брикетиранияте материали при условията на комбиниран удар се постига съществена промяна както в работа на машините и инструментите, така и в протичане на технологичните процеси. Ако това се окаже вярно и за процеса на брикетирание, ще може да се твърди, че предаваната от ракетния двигател сила през цялото време на комбиниран удар, намалява или свежда до нула разгледаните по-горе негативни влияния на ударното натоварване. В резултат на това се създават условия за

икономически ефективно повишаване плътността на брикетите и в някои случаи приближаването на тази плътност до плътността на монолитен метал.

Целта на представените по-долу експерименти е, да се изследва в лабораторни условия до каква степен тези твърдения са верни.

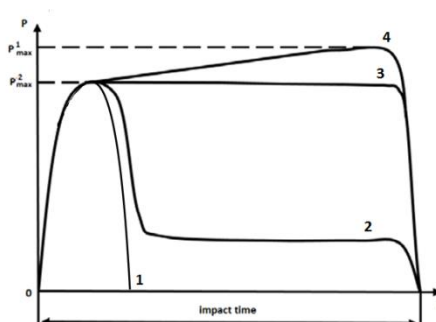
4.4. Резултати от 2-ра серия лабораторни експерименти за брикетирание с удар на метални стружки

4.4.1. Въведение

В настоящото изложение са представени резултати от експерименти за ударно брикетирание на стружки от AL-сплав и сив чугун, както и от уплътняване на железен прах. Материалите за експериментите са предоставени от фирма “Капрони”-гр.Казанлък.

Експериментите са проведени в лаборатория „Изследване на технологични ударни процеси” при ТУ-София. Използвана е уредба за сложен (комбиниран) удар – Фиг.39.

Основният елемент на тази уредба е студен ракетен двигател, който работи със съгъстен въздух с налягане до 33 МРа. Използването на такъв двигател дава възможност за получаване на удар, при който се получава комбинирано въздействие на ударната сила P_y с допълнителна сила R от ракетния двигател, която действа през време на удара. На Фиг.40 са показани режимите на работа на уредбата, а на Фиг.66 – възможното изменение на силата през време на удара. От Фиг.66 се вижда, че при сложен удар устройството може да работи като комбинация на чук и хидравлична преса, т.е. да се получи ударно действие на силата, след което максималната ударна сила или различна от нея сила, да продължи да действа с постоянна (или нарастваща) стойност, като хидравлична преса. Големината на допълнителната постоянна сила, действаща през време на удара, зависи от тягата на ракетния двигател R . При регулиране на тягата R , може да се получат различните диаграми за изменение на силата P_y , показани на Фиг.66.



Фигура 66. Диаграми за изменение на силата на удар: 1 – обикновен удар; 2, 3, 4 – сложен удар

Основните технически характеристики на уредбата са: максимална височина на падане – 1.1 m; максимална скорост на удар – от 7 m/s до 8 m/s, в зависимост от масата

на падащата част; маса на падащата част – 6.17 kg или 9.12 kg; максимална енергия на удара – 240 J; максимална допълнителна сила (тяга) от ракетния двигател $R = 226 \text{ N}$.

Максималната скорост на удара се получава в резултат на ускорение от работещия ракетен двигател през време на падане, а допълнителната сила се получава, когато двигателя продължава да работи след удара – режим 4 от Фиг.40.

Енергията на удара, която е основна характеристика на машини с ударно действие, се пресмята по формулата

$$E_y = \frac{mV_y^2}{2}, \text{ J}, \quad (4.4)$$

където m е масата на падащата част, kg, а V_y е скоростта на удар, m/s.

Специфичната енергия E_c е енергията за единица обем и се пресмята по формулата

$$E_c = \frac{E_y}{\Theta}, \text{ J/sm}^3, \quad (4.5)$$

където Θ , sm^3 , е обемът на получаваното след удара тяло (брикет). Този показател се използва, тъй като дава обективна основа, за приложение на получените в лабораторни условия резултати, при внедряване в практиката на технологичния процес за ударно брикетирене. Например, ако в лабораторни условия е установено, че за брикет с обем Θ_1 максимална плътност се получава при $E_c = E_c^1$, J/sm^3 , за да се получи в производствени условия брикет с обем Θ_2 ($\Theta_2 > \Theta_1$) със същата плътност, ще бъде необходима енергия на удара E_y^2

$$E_y^2 = E_c^1 \cdot \Theta_2 = \frac{E_y^1 \cdot \Theta_2}{\Theta_1} = E_y^1 \cdot \frac{\Theta_2}{\Theta_1}, \text{ J}. \quad (4.6)$$

4.4.2. Методика за брикетирене на стружки

➤ За провеждане на експериментите за брикетирене на стружки, се използва експерименталния стенд, показан на Фиг.39. С монтираните към стенда индуктивни и светлинни датчици, може да се измерва скоростта на удар с голяма точност [12]. За определяне силата на удара P_y , е необходимо, да се познава ускорението на удара a_y . Тогава P_y се определя от закона на Нютон

$$P_y = m \cdot a_y, \text{ N}. \quad (4.7)$$

За експериментално определяне на ускорението, се използват датчици за ускорение. Поради това, че този вид датчици са с обхват на измерване (например: до 10 g, до 100 g, ..., 100000 g, където g е земното ускорение), не беше възможно тяхното използване, защото предварително не ни беше известен порядъка на действащото ускорение при различните процеси (брикетирене, различни операции за пластична деформация).

В настоящият момент ИИКТ-БАН разполага с високоскоростна камера и софтуер към нея, с който може да се определят параметрите път, скорост, ускорение на удрящи се тела. На Фиг.69 е показан стенда с тази камера и специални осветителни тела, за осъществяване на високоскоростни видео записи. Използването на камерата и софтуера дава възможност за определяне на скоростта V_y и на ускорението a_y , и след това за пресмятане на енергията E_y и на силата P_y по формули (1), (4).

След получаване на брикета, той се поставя в Рентгенов Томограф Nikon XTH 225 Compact Industrial CT Scanner (ИИКТ-БАН), за да се изследва структурата му в хоризонтални и вертикални сечения. Разделителната способност на получаваните изображения е 5 μm . От съответните сечения се определят автоматично диаметъра $D_{бр}$, mm, и височината $H_{бр}$, mm, на брикета, с точност до четвъртия знак след десетичната точка.

С данните за $D_{бр}$ и $H_{бр}$ се определя обема на брикета Θ , sm^3 , след което се пресмята специфичната енергия E_c по формула (2).

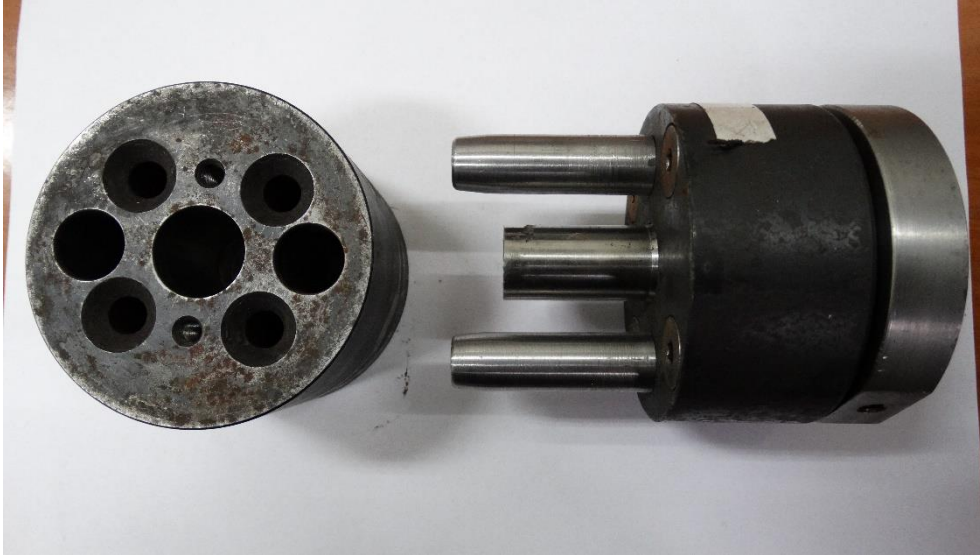


Фигура 14. Лабораторен стенд за сложен удар с високоскоростна камера

➤ Масата на брикета $G_{бр}$ (в грамове) се определя, чрез измерване с аналитична везна (Лаборатория «Трибология» при ТУ-София), с точност до четвъртия знак след десетичната точка, след което се пресмята плътността $\rho_{бр}$, по формулата

$$\rho_{бр} = \frac{G_{бр}}{\Theta}, \text{ gr/sm}^3. \quad (4.8)$$

➤ На Фиг.70 е показана инструменталната екипировка, използване за брикетирание. Диаметърът на отвора на матрицата, в който се насипват стружките, е $D_m = 20$ mm. Диаметърът на поансона $D_n = 19.6$ mm. Между матрицата и поансона има хлабина 0.2 mm на страна. Тази хлабина служи за излизане на въздуха, който се намира между стружките, при уплътняването им.



Фигура70. Инструментална екипировка за брикетиране на метални стружки

➤ За определяне първоначалната маса на стружките в един брикет, се използват данните от диаграмите на Фиг.48. От тях се отчита, E_c при която се получава най-голяма плътност на брикета от съответния материал, след което, от данните за провеждането на експерименти по брикетиране получени в [1], се определя масата на стружките за този материал. В конкретния случай се получи, че масата на стружките за един брикет от Al-сплав трябва да е 4 gr, а за брикет от чугунени стружки да е 6 gr, за да се получи максимална плътност на брикета.

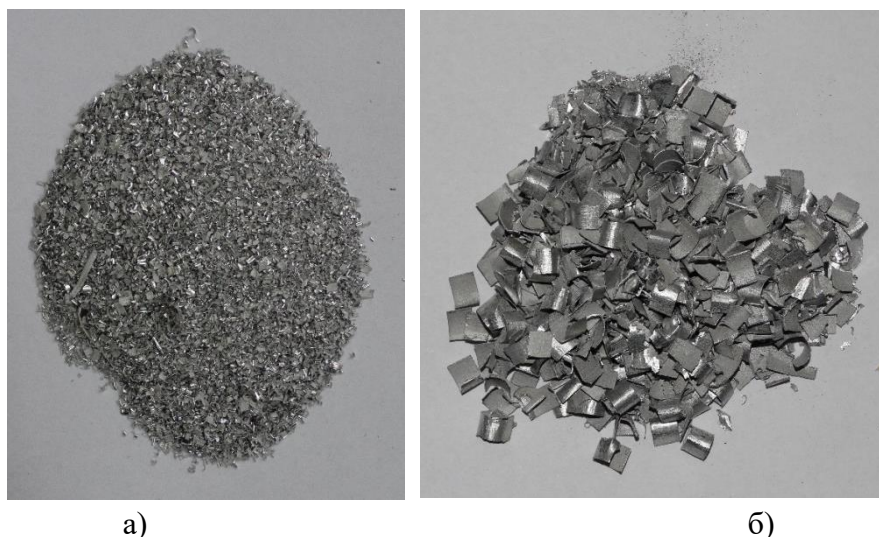
➤ Доставените стружки са с останала по тях смазочно-охлаждащата течност на машините за механична обработка, на които са получени. Част от тези стружки бяха почистени (обезмаслени), а другата част останаха в състояние на доставка. Това е направено с цел, да се изследва възможността за получаване на брикети без почистване на стружките.

➤ Поради наличие на хлабина между матрицата и поансона, получаваните брикети имат израстъци с дебелина 0.2 mm по двете челни повърхнини. Тези израстъци се отстраняват чрез обработване на машина за полиране на металографски шлифове (Лаборатория „Изпитване на материалите” при ТУ-София).

➤ Всички получени данни от експериментите се нанасят в таблици, които служат за построяване на графични зависимости и за анализ на резултатите.

4.4.3. Резултати от брикетиране

На фиг.71 е показан вида на стружките за брикетиране. Сравнението между вида и големината на стружките от Фиг.58 и фиг.71 показва голяма разлика и за двата вида материали. Най-съществена е тази разлика в големината на стружките.



Фигура 71. Вид на стружките за брикетирание: а – Al-сплав; б – чугун

От всеки материал са получени по четири брикета от почистени стружки и стружки във вид на доставка (омаслени). Вида на получените брикети е показан на Фиг.72. Израстъкът по горната челна повърхнина се дължи на хлабината между матрицата и поансона. Израстъкът по долната челна повърхнина е поради хлабина в избутвача от матрицата. Както е отбелязано в Раздел 4.4, тези елементи се премахват, преди измерване на масата на брикета с аналитична везна.

След видео-заснемане на ударния процес за всеки брикет, се извършва обработка на записа с програмния продукт Vicasso 2009. В резултат се получават диаграми на пътя, скоростта и ускорението. От тези диаграми се отчита скоростта на удар V_y и ускорението на удар a_y . С тези данни се пресмята енергията на удар E_y и силата на удар P_y по формули (1), (4). На Фиг.73 са показани тези диаграми за един от ударите

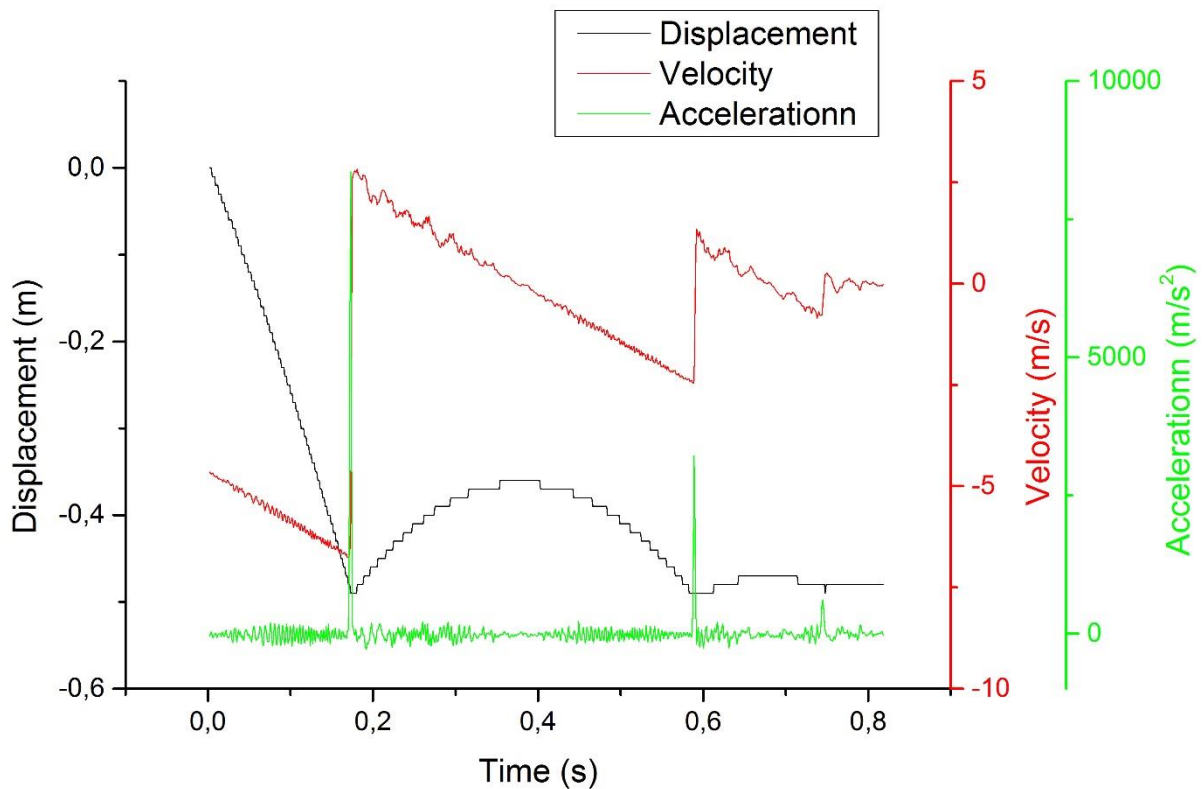


а)

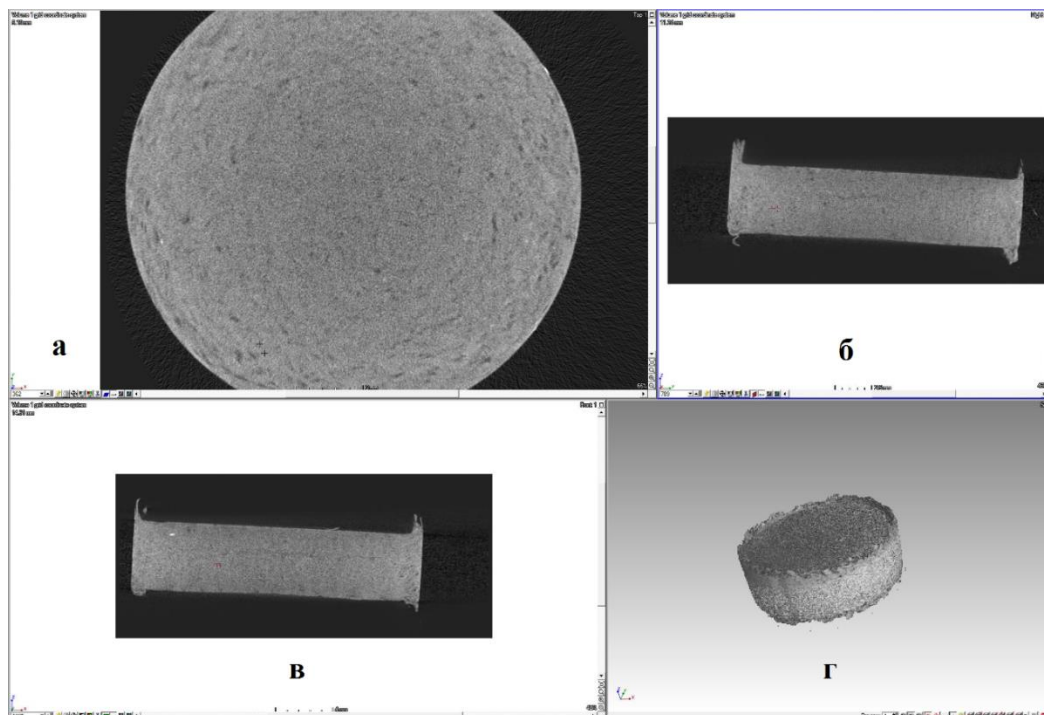


б)

Фигура 72. а – брикети от алуминиеви стружки (А1 – А4 от почистени стружки; АМ1 – АМ4 от стружки във вид на доставка); б – брикети от чугунени стружки (Ч1 – Ч4 от почистени стружки; ЧМ1 – ЧМ4 от стружки във вид на доставка)



Фигура 73. Диаграми на път, скорост и ускорение за един случай на брикетиране със сложен удар



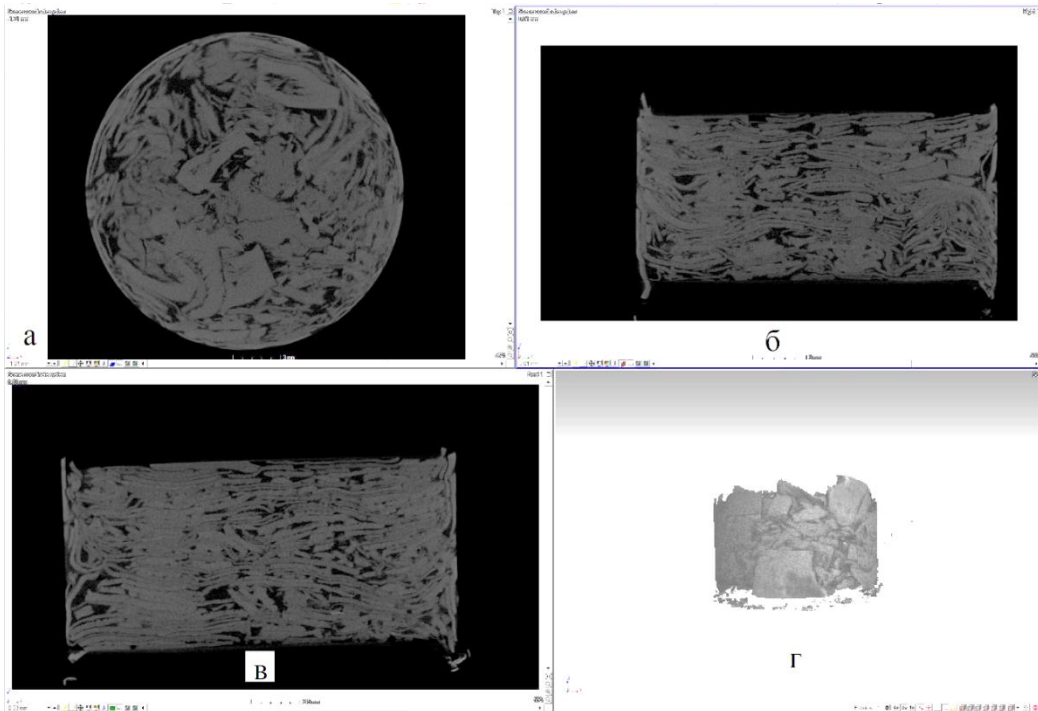
Фигура 74. Снимки от Рентгенов Томограф на брикет от Al – сплав: а – напречно сечение в средата на брикета по височина; б, в – взаимноперпендикулярни вертикални сечения, през центъра на брикета; г – 3-D изображение

матрицата и поансона). Поради малкото време на действие на ударната сила, за въздухът достигнал периферните области, няма достатъчно време да излезе извън брикета. Ако действието на ракетния двигател, продължи по-дълго време и тягата му R е достатъчно голяма, за да поддържа необходимото вътрешно налягане в брикета, под действие на което въздухът продължава да се движи до пълното му отстраняване, ще се създадат условия, за получаване на брикет с плътност много близка до плътността на монолитен метал. **Такъв брикет ще може да бъде използван за директно производство на детайли.** Този въпрос се изследва по-долу.

- В средата по височина на сеченията показани на Фиг.74 б,в се вижда тънка начупена линия. Според нас това е признак за разслояване на метала, поради действие на пластични вълни на опън [11], [13].

Разслояването не е от значение, при използване на брикетите за стопяване в пещ.

От Фиг.Фиг.75а,б,в, се вижда, че между чугунените стружки има големи области с въздух, които са неравномерно разпределени в обема на брикета; 3-D изображението от Фиг.75г показва слабо сцепление между стружките и лошо качество на брикета. Както беше показано по-горе, това се дължи на малката специфична енергия на удара E_s , която е над два пъти по-малка от необходимата енергия за получаване на брикет с максимална плътност, в съответствие с Фиг.68б.



Фигура 15. Снимки от Рентгенов Томограф на брикет от чугун с маса 6 gr ($E_c =$): а – напречно сечение в средата на брикета по височина; б, в – взаимноперпендикулярни вертикални сечения, през центъра на брикета; г – 3-D изображение на брикет

4.7. Изводи

4.7.1. За резултатите от брикетиране.

- При брикетиране с комбиниран удар на омаслени стружки от предоставената Al – сплав, се получи средна плътност на брикетите $\rho = 2.53 \text{ gr/sm}^3$, при специфична енергия на удара $E_c = 150 \text{ J/sm}^3$. Тази стойност съвпада с резултатите от предишни изследвания публикувани в [1], [2] които показват, че ако се използва по-голяма специфична енергия на удара $E_c > 150 \text{ J/sm}^3$ и по-голяма тяга R на ракетния двигател, може да се получи плътност на брикета, много близка до плътността на монолитен метал, при брикетиране с комбиниран удар. При това, плътността на получаваните брикети не зависи от вида и големината на стружките (Фиг.71а и Фиг.71б)

- Голямата плътност на брикетите от Al – сплав дава възможност за получаване на детайли от тях, чрез следваща пластична деформация с преобладаващи максимални напрежения на натиск (сплескване, обемно щамповане, право изтичане). Неотговорни детайли може да се получават чрез механична обработка на брикетите, но тази технология трябва да се изследва допълнително, по отношение на допустимите режими на рязане.

- Получените чрез комбиниран удар брикети от замърсени чугунени стружки, са с много малка плътност: $\rho = 2.08 \text{ gr/sm}^3$ при брикетиране с един удар и $\rho = 2.34 \text{ gr/sm}^3$ при брикетиране с два удара (Таблица 23 Таблица 24). Не се наблюдава разлика между плътността на брикети получени от замърсени и от почистени стружки.

- Според нас, причината за малката плътност на брикетите от чугунени стружки е тяхната форма и размер. От Фиг.75 се вижда, че разположението на стружките е такова, че възпрепятства излизането на въздуха извън брикета. С това може да се обясни и еднаквата плътност на брикетите от замърсени и почистени стружки: влиянието на остатъците от смазочно-охлаждаща течност върху плътността на брикетите следва да се прояви, след отстраняване на по-голямата част от въздуха и установяване на по-плътен контакт между отделните стружки.

- Сравняването на резултатите от брикетиране със сложен удар на чугунени стружки с малки размери (Фиг.71а) и на използваните в това изследване стружки (Фиг.71б, Таблица 23, Таблица 24) показва, че при дребни стружки се получава много по-голяма плътност (около $\rho = 5.3 \text{ gr/sm}^3$), при същата специфична енергия на удара $E_c \approx 100 \text{ J/sm}^3$ - Фиг. 73. Необходимо е допълнително изследване за доказване на влиянието вида и едрината на чугунените стружки, върху плътността на брикетите.

4.8. Възможност за внедряване на брикетиране и уплътняване на метални прахове със сложен удар

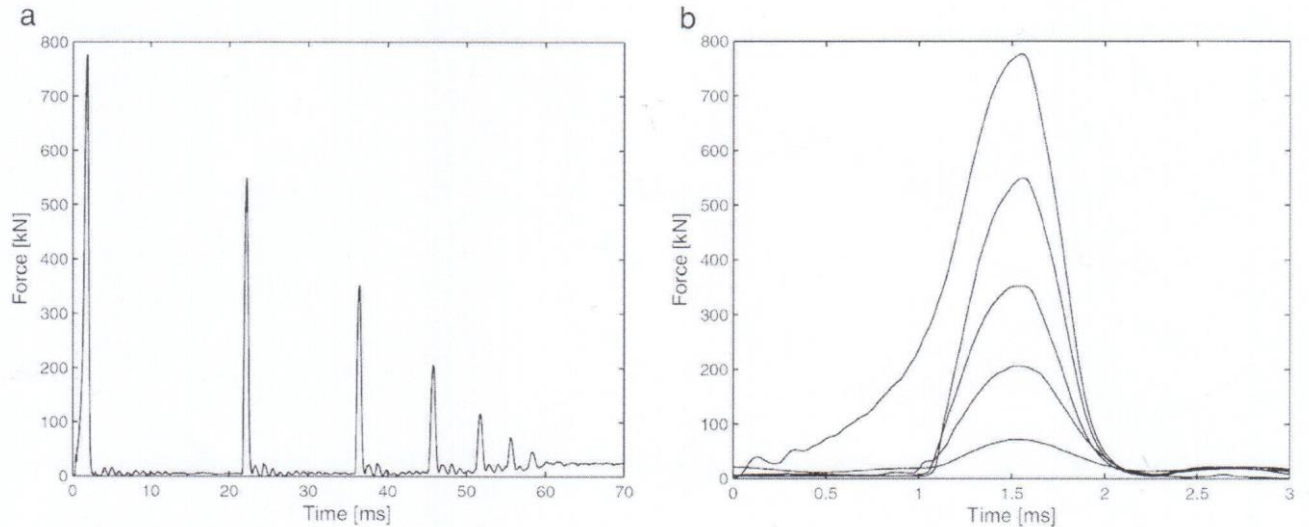
Получените резултати в настоящото и предишни наши изследвания, както и световния опит показват, че ударните машини (чукове) може да се използват успешно, за получаване на брикети от метални стружки и за уплътняване на метални прахове. И в двата случая се получава по-голяма плътност, отколкото при използване на хидравлични или механични преси. Ефектът от тези технологии се увеличава значително, ако се използва сложен (комбиниран) удар. Нашите изследвания показват, че в този случай се получава:

- Нарастване до 27% на ефекта при пластична деформация [14] и до 20 % при брикетиране [1], в сравнение с обикновен удар, в резултат на което се подобряват техникo – икономическите показатели на производството.

- Увеличава се трайността на инструменталната екипировка, поради намаляване на силата на удара и премахване (или голямо намаляване) на големината и броя на отскоците след удар [14]. На фиг.86 [7] е показано изменението на силата, действаща върху инструментите през време на един обикновен удар.

Сравняване на Фиг.86 с Фиг.66 и Фиг.68, дават нагледна представа, за различния характер на натоварване на инструментите. При обикновен удар –Фиг.86, натоварването е динамично пулсиращо, с големи стойности на максималните сили и шест отскока след удара. При сложен удар и при същата конструкция на инструмента броят на отскоците е само два и максималната сила при тях е много по-малка от максималната сила на удара - Фиг.68, Фиг.66. Ако се подбере подходяща тягата R на ракетния двигател, може да се получи удар без отскок – фиг.66, което води до качествено изменение на характера на натоварване на инструментите. Този ефект нараства и поради установения от нас факт [14], че една и съща степен на деформация се постига при комбиниран удар с по-малка сила на удара, отколкото при обикновен удар.

- Получаване на брикети с плътност близка до плътността на монолитен метал, което позволява получаване от брикетите на детайли чрез методите на студена или гореща пластична деформация или чрез рязане. Тази технология е ефективна, при брикетиране на стружки от пластични метали (Al, Al-сплави, Cu, Pb и др.) или при брикетиране на стружки от скъпи материали (Ti - сплави).



Фигура 86. Изменение на силата действаща през време на обикновен удар и на следващите отскоци, при уплътняване на железен прах със $V_y = 15 \text{ m/s}$ и енергия на удара $E_y = 2.7 \text{ kJ}$ [7]: а-изменение на силата за един удар; б- само на максималните стойности на силата

Заклучение

В разработената дисертация са направени обзор, анализ и систематизация на методи и средства за реализация на високоскоростни управляеми ударни процеси при деформация на метали, брикетиране и уплътняване на метални материали, както и забиване на пилоти.

Предложени са методики и алгоритми за пластична и еластична деформация на метални заготовки, брикетиране на алуминиеви и чугунени стружки, уплътняване на железен прах.

Извършени са експерименти на лабораторен стенд за управляеми високоскоростни удари с ракетни задвижване, компютърно управление и комуникационна система. С високоскоростна камера са заснети резултатите от експериментите и са определени траекториите, скоростите и ускоренията при различни режими на работа. С компютърен 3Д индустриален томограф са изследвани вътрешната структура и плътността на получените метални материали - заготовки и брикети.

Определени са оптимални параметри на управляемите ударни процеси и на третираните метални материали с цел получаване на най-добри физикомеханични свойства. Точният им подбор и прилагане могат значително да повишат качеството на продукцията и да повишат енергийната ефективност, с което реално да се намалят времената и разходите в производството.

Приноси в дисертационния труд

С оглед на работата извършена в дисертацията и резултатите, получени в хода на изследванията и изложени по-горе, могат да бъдат формулирани следните научно-приложни приноси:

1. Анализирани и систематизирани са в своята пълнота различните високоскоростни решения за деформация на метали, брикетиране на метален скрап и забиване на пилоти
2. Предложен е подход за теоретично изследване на управляеми ударни процеси, уравнения на движение при външни сили и модели за динамиката на удари между тела
3. Проведени са редица експерименти за деформация на метални заготовки, брикетиране на метални стружки и уплътняване на метален прах
4. Резултатите от експериментите са верифицирани, анализирани и оптимизирани с цел повишаване качеството на продукцията и енергийната ефективност.
5. Разработена е методика за оценка физикомеханичните свойства на металните материали при различни параметри на ударните процеси
6. Определени са траекториите, скоростите и ускоренията при различни режими на работа и са изследвани вътрешната структура и плътността на получените заготовки и брикети.

Благодарности

Благодаря на своя научен ръководител проф. д-р Димитър Карастоянов, за ползтворната съвместна работа, за всички съвети и градивните критики, които отпрати.

Благодаря на проф. д.м.н. Галя Ангелова, ръководител на проекта АСОМІN, за осигурената помощ и лабораторно оборудване с помощта на което станаха възможни повечето изследвания в дисертацията.

Дълбока благодарност и признателност дължа и на проф. д-р Тодор Нешков, доц. Тодор Пенчев и доц. Любен Клочков от Технически Университет – София за методологичната помощ, съветите и препоръките, без които настоящата дисертация не би се случила.

Списък на използвана литература

1. Бодуров П., Относно възможността за прилагане на ракетни двигатели при високоскоростни чукове, *Машиностроене*, 4, 1973, с.160-162.
2. Бодуров П., Високоскоростен чук, Автроско свидетелство 24567/12.04.1978, с приоритет от 05.08.1968.
3. Бодуров П., Устройство за забиване на пилоти, Патент на ПБългария 65331/2008.
4. Бодуров П., Й.Генов, Съоръжения за деформиране на металите с помоща на ракетни двигатели, Научна конференция за обработване на металите чрез пластична деформация, Плевен, 1976, Първа част, с.82-90.
5. Нютон И., Математические начала натуральной философии, Москва, Наука, 1989.
6. Гольдсמיד В. , Удар.Теория и физические свойства соударяемых тел, Москва, Наука, 1972, 447 с.
7. Goldsmith W., The Coefficient of Restitution, *Bull. Appl. Mech*, 2, 1952, p.10
8. Minamoto H., Kawamura S., Effects of material strain rate sensitivity in low speed impact between two identical spheres, *Int. J. of Impact Engineering*, May 2009, vol.36 issue 5, p.680-686.
9. Cristophorou A.P., Yigit A.S., Effect of flexibility on low-velocity impact response, *J. of Sound and Vibr.*, 1998, 217 (3), pp.563-578.
10. Richardson M.O.W., Wisheart M.J., Review of low-velocity impact properties of composite materials, *Composite, A*, 1996, 27(12), pp.1123-1131.
11. Zhou G., Davies G.A.O., Impact response of thick glass fiber reinforced polyester laminates, *Int. J. of Impact Eng.*, 1995, 16(3), pp.357-374.
12. Clifton R.J., Response of materials under dynamic loading, *Int.J.Solid.Struct.*, 2000,37, pp.105-113.
13. Stronge W.G., *Impact mechanics*, Cambridge, Cambridge University Press, 2000.
14. Graham G.A.C., Contribution to Hertz's theory of elastic impact, *Int.J.Eng.Sci*, 1973, 11, pp.409-413.
15. X.Zhang, Loc Vu-Quoc, Modeling the dependence of the coefficient of restitution on the impact velocity in elastic-plastic collision, *Int. J. of Impact Eng.*, 2002, 2, pp.317-341.
16. Chuan-Yu Wu, L.Y.Li, C. Thornton, Energy dissipation during normal impact of elastic and elastic-plastic spheres, *Int. J. of Impact Eng.*, 2005, 32, pp.593-604.
17. Wu C.Y., Finite element analysis of particle impact problems, PhD thesis, University of Aston in Birmingham, 2001.
18. Александров Е.В., Соколинский В.Б., Прикладная теория и расчеты ударных систем, М., Наука, 1969, 200 с.
19. Whirley R.G., Engelmann B.E., DYN2D, a nonlinear, explicit, two-dimensional finite element code for solid mechanics: user manual, Lawrence Livermore National Laboratory, University of California, 1992.
20. Hunter S.C., Energy absorbed by elastic waves during impact, *J.Mech.Phys.Solids*, 1957, 8, pp.162-171.
21. Reed J., Energy losses due to elastic waves propagation during an elastic impact, *J.Phys.D*, 1985, 18, PP.2329-2337.

22. Wu C.Y., L.Y.Li, C.Thornton, Rebound behaviour of spheres for plastic impacts, Int. J. of Impact Eng., 2003, 28, pp.929-946.
23. Li L.Y, Wu C.Y., Thornton C., A theoretical model for the contact of elastoplastic bodies, Proc I Mech E, 2001, 216C, pp.421-431.
24. Stronge W.J., Theoretical coefficient of restitution of planar impact of rough elastoplastic bodies, Impact Waves Fract, ASME, AMD, 1995, 205, pp.351-362.
25. Thornton C., Coefficient of restitution for collinear collision of elastic-perfectly plastic bodies, ASME J. of Appl. Mech., 1997, 64. 383-386.
26. Thornton C., Ning C., A theoretical model for the stick/bounce behaviour of adhesive, elastic-plastic spheres, Powder Technol., 1998, 99, pp.154-162.
27. Jonson K.L., Contact mechanics, Cambridge, Cambridge University Press, 1985.
28. Jonson K.L., An experimental determination of the contact stresses between plastically deformed cylinders and spheres, In: Engineering plasticity, Cambridge, Cambridge University press, 1968, pp.341-361.
29. Mesarovic S.D.J., Thornton C.A., Adhesive contact of elastic-plastic spheres, J. Mech. Phys. Solids, 2000, 48, pp.2009-2033.
30. Goldsmith W., Lyman P.T., The penetration of hard-steel spheres into plane metal surfaces, ASME J. of Appl. Mech., 1960, 27, pp.717-725.
31. Jaquelin E., Laine J.P., Bennani A., Massenzio M., A modeling of an impacted structure based on constraint modes, J. of Sound and Vibration, 2007, 301, 3-5, pp.789-802.
32. Jaquelin E., Laine J.P., Bennani A., Massenzio M., The anti-oscillator model parameters linked to the apparent mass frequency response function, J. of Sound and Vibration, 2008, 312, 4-5, pp.630-643.
33. Pashah S., M.Mssenzio, E.Jaquelin, Prediction of structural response for low velocity impact, Int. J. of Impact Eng., 2008, 35, pp.119-132.
34. Jaquelin E., On the rigid projectile model for low velocity impacts, Int. J. of Impact Engineering, 2009, 36 pp.1006-1011.
35. Shivakumar K.N., Elber W., Prediction of impact force and duration due to low-velocity impact on circular composites laminates, J. of App. Mech., September, 1985, 52, pp.674-680.
36. Abrate S., Modeling of impacts on composite structure, Composite Structures, 2001, 51, pp.129-138.
37. Александров Е.В., Соколинский В.Б., Прикладная теория и расчеты ударных систем, М., Наука, 1969, 200 с.
38. Алимов О.Д., Манжосов В.К., Эремянец В., Удар. Распространение волн деформации в ударных системах, М., Наука, 1985, 356 с.
39. I.Kleis, I.Hussainova, Investigation of particle-wall impact process, Wear, 1999, 233-235, pp.168-173.
40. Walton O.R., Numerical simulation of inelastic, frictional particle – particle interaction, In: Particulate Two-phase flow, Stoneham, 1993, pp.884-911.
41. Пенчев Т., Генов Й., Камбуров В., Технологии за обработване чрез пластична деформация, С., 2007, 117 с.

42. Беляев Ю.В., Возможности улучшения энергосиловых характеристик удара кузнечных молотов, Кузн.-штамп. п-во, 1981, 4, с.21-24.
43. Беляев Ю.В., Силы и распределение энергии при обработке материалов ударным воздействием, Вестник машиностроения, 1974, 4, с.70 – 73.
44. Беляев Ю.В., Экспериментальное исследование нагрузок соударяющихся деталей молотов во время удара, Кузн. – шамп. п-во, 1967, 2, с.26 – 30.
45. Беляев Ю.В., Наибольшие нагрузки соударяющихся деталей молотов, Кузн.штамп.п-во, 1970, 8, с.31 – 33.
46. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М., Штамповка на высокоскоростных молотах, М., Машиностроение, 1978, 166 с.
47. Денисенко Г.М., Кирпичев Б.А., Совершенствование оборудования ударного действия, Кузнечно-штамповочное п-во, 1981, 4, с.9 -11.
48. Bakhtar F., The economics of high energy rate forming, Engineer, 1969, 277, No 5902, pp.362-366
49. Glanvill-Jones, Progress in high –energy -rate –forging, J. Inst. Of Metals, 1969, IX, vol.97, pp.257-270.
50. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Тулянкин Ф.В. и др., О связи скоростных параметров оборудования с технологическими параметрами процессов горячей штамповки, Технология легких сплавов, 1970, 5, с.55-60.
51. HERF makes stronger gears, Amer. Mash., 1971, 115, 5, pp.68-70.
52. Охрименко Я.М., Тюрин В.А., Неравномерность деформации при ковке, М., Машиностроение, 1969, 184 с.
53. Непершин Р.И., Даценко В.И., Маттяж В.А., Расчет усилия при высокоскоростном пресовании, Кузн. Шамп. П-во, 1972, 2, с.1-4.
54. Shut A., Turner T.V., Extrusion by a true impact process, Int. J. of Mech., 1963, 5, pp.267-273.
55. Cole B.N., Bghtar F., Dynamic effects in very high speed impact exstrusion, Int. J. Mash. Tool Des., 1963, 3, pp.77-95.
56. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Propelling of Forging Hammers, J. of Mater. Processing Technology, 2005, 161, pp.504-508.
57. Баррер М., А. Жмотт и др., Ракетные двигатели, Оборонгиз, 1962.
58. Морголенко А.С., В.П.Цыганов, Г.Д.Селиванов, Новые высокоскоростные кузнечно-пресовые машины, Кузн.штамп.п-во, 1978, 3, с.31-33.
59. Степанов В.Г., Шавров И.А., Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов, Ленинград, Машиностроение, 1975.
60. Георгиев А., Пилотно фундиране, Техника, София, 1973, 154 с.
61. Дзингов Г.А., Божинов Б.И., Пилотно фундиране, С., Техника, 1979, 356 с.
62. Petrasovitz D., Forming of densified zones around piles driven in sand and its effect on bearing capacity, 8th Int. Congr. on Soil Mech. And Found., Moskwa, 1973, v.2.1, pp.187-192.
63. Гамал Ел Дин, Зависимост несущей способности свай от свойств глин, Международны конгрес по механике грунтов и фундаментостроение, Мексико, 1966, с.260 – 269.

64. Kezdi A., Bemerkungen zur Anwendung der Pfahlgründungen, Internationales Simposium, Weimar, 1977.
65. Глотов Н.М. и др., Свайные фундаменты, Транспорт, 1975.
66. Божинов Б., Напрегнато състояние на на пилотите през време на забиването, Строителство, 1970, 10.
67. Meyerhof G.G., Uplift resistance of inclined anchors and piles, 8th Int. Congr. on Soil Mech. And Found., Moskwa, 1973, v.2.1, pp.187-192.
68. Полищук В.А. и др., Проектирование и применение свай, Киев, 1967, 140 с.
69. Wang Z. J., L. D. Cheng. Effect of material parameters on stress wave propagation during fast upsetting, Transactions of nonferrous metals society of China, 18, (2008), 1189–1195.
70. Wang Z. J., L. D. Cheng. Experimental research and numerical simulation of the dynamic cylinder upsetting, Material Science and Engineering A, 499, (2009), 138–141.
71. Hallquist J. O. LS-DYNA Theory manual, (2006).
72. Belytchko T. et al. Nonlinear finite elements for continua and structures. John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
73. Rojek J. et al. Advances in FE explicit formulation for simulation of metal forming processes, J. of materials processing technology, 119, (2001), 41-47.
74. A.M.S. Hamouda, Effect of energy losses during an impact event on the dynamic flow stress, Journal of Materials Procressing Technology, 2002,124, 209-215.
75. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М., Штамповка на высокоскоростных молотах, М., Машиностроение, 1978.
76. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Proppeling of Forging Hammers, Journaj of Materials Processing Technology, 2005, v.161, 3, 504-508.
77. Penchev T., Karastoyanov D., Altaparmakov I., Experimental Study on “Controlled Impact” Effect in Plastic Deformation Processes, Advanced Materials Research, 2013, v.772, 3-8.
78. Penchev T., Altaparmakov I., Experimental Investigations on “Controlled Impact” Effect, Proceedings of International Conference METAL’13, 15-17.05.2013, Brno, Czech Republic.
79. Penchev T., Karastoyanov D., Experimental Study of Upsetting and Die Forging with Controlled Impact, Proceedings of International Conference on Manufacturing Science and Engineering (ICMSE’14), 17-18 April, 2014, Lisbon, Portugal.
80. Гьошев С., Пенчев Т., Карастоянов Д., Приложение на высокоскостна камера за определяне параметрите на ударни процеси, Национална Конференция „Машиностроене и машинознание”, 09 – 10. 09.2014, Варна.
81. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Proppeling of Forging Hammers, Journaj of Materials Processing Technology, 2005, v.161, 3, 504-508.
82. Бодуров П., Относно възможността за прилагане на ракетни двигатели при высокоскоростни чукове, Машиностроене, 4, 1973, с.160-162.

83. Penchev T., Karastoyanov D., Altaparmakov I., Experimental Study on “Controlled Impact” Effect in Plastic Deformation Processes, “Advanced Materials Research”, 2013, v.772, 3-8.
84. Penchev T., Altaparmakov I., Experimental Investigations on “Controlled Impact” Effect, Proceedings of International Conference METAL’13, 15-17.05.2013, Brno, Czech Republic.
85. Penchev T., Karastoyanov D., Experimental Study of Upsetting and Die Forging with
86. Controlled Impact, Proceedings of International Conference on Manufacturing Science and Engineering (ICMSE’14), 17-18 April, 2014, Lisbon, Portugal.
87. Chuan-Yu Wu, Long-Yuan Li, Colin Thortnton, Energy dissipation during normal impact of elastic-plastic spheres, International Journal of Impact Engineering, 2005, 32, p. 593-604.
88. Penchev T., Altaparmakov I., Experimental Investigations on “Controlled Impact” Effect, International Conference METAL 2013, Brno, 15-17.05, 2013.
89. Пенчев Т., Алтъпармаков И., Експериментално изследване на брикетиране с удар на метални стружки, Международна научна конференция МТФ’2012, 18-20.10. 2012, ТУ-София, България.
90. Степанов В.Г.,Оборудование для обработки металлов высокоэнергетическими методами, Ленинград, Машиностроение, 1978,
91. Степанов В.Г., Шавров И.А., Высокоэнергетические импульсы методы обработки металлов, Ленинград, Машиностроение, 1975.
92. Bodurov P., Penchev T., Industrial Rocket Engine and its Application for Propelling of Forging Hammers, Journal of Material Processing Technology, 2005, 161, 504-508.
93. Gustavson G. at all., Experimental studies and modeling of high –velocity loaded iron-powder compacts, Powder Technology, 2014, 268, 293-305.
94. Doremus P. at all., High-velocity and conventional compaction of metallic powders: comparison of process parameters and green compact properties, Proc. IMechE 224 E, 2010, 117-185.
95. Scoglund P., High density PM parts by high-velocity compaction, Powder Metallurgy, 2001, 44, 199-202.
96. Dore F. at all., High velocity compaction: Overview of material, Applications and Potential, Materials Science Forum, Trans Tech Publications, 2007, 293-296.
97. Поляков А.П., Влияние параметров динамического нагружения на характер распространения ударных волн в порошке, Изв. ВУЗ, Цветная металлургия, 2009, № 1, 30-34.
98. Penchev T., Karastojanov D., Monov V., Control System for “Controlled Impact” Laboratory device, Proceedings of the Third IEEE International Conference on Information Science and Technology, March 23-25, 2013, Jiangsu, China, 215-219.
99. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М., Штамповка на высокоскоростных молотах, М., Машиностроение, 1978.

Abstracts of Dissertations

Number 4, 2016

INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES
BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

Брой 4, 2016

Автореферати на дисертации