

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСА УПЛЪТНЯВАНЕ НА ЖЕЛЕЗЕН ПРАХ. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ С 3D ТОМОГРАФ.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE PROCESS OF COMPACTING IRON POWDER. ANALYSIS OF THE RESULTS OBTAINED WITH 3D TOMOGRAPHY.

Станислав Гъошев, Десислава Иванова

Институт по информационни и комуникационни технологии, София 1113, ул. акад. Георги Бончев бл.2

stanislavgyoshev@mail.bg, divanovaacomina@gmail.com

Резюме: В настоящата работа са представени резултати от експерименти за уплътняване на железен прах. Експериментите са проведени в лаборатория „Изследване на технологични ударни процеси“ при ТУ-София. Използвана е уредба за сложен (комбиниран) 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) – 226 N

Ключови думи: уплътняване, брикетиране, железен прах, комбиниран удар, плътност

1. Въведение

Метални стружки както и метални отпадъци от тънък листов материал се подлагат на брикетиране поради две основни причини – по-ефективно транспортиране и повишаване на производителността 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 брикетиране, чрез които да се постигне плътност на брикета близка до плътността на монолитен метал. Съществуващите технологии за брикетиране с хидравлични преси са достигнали границите на възможностите си. Понатайшно увеличаване мощността на пресите, което би довело до увеличаване плътността на брикетите е икономически неизгодно. Приложението на чукове (въздушни и високоскоростни взривни) не е намерило широко приложение поради технически проблеми, свързани с трайността на елементи на конструкцията и на щампите. [1, 2, 3]

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

$$E_y = \frac{mV_y^2}{2}, \text{ [J]},$$

(1)

където:

- m е масата на падащата част, [kg],
- V_y е скоростта на удар, [m/s].

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

$$E_c = \frac{E_y}{\Theta}, \text{ [J/cm}^3\text{]},$$

(2)

където Θ , [cm³] 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. 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/cm³, 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 :

$$E_y^2 = E_c^1 \cdot \Theta_2 = \frac{E_y^1 \cdot \Theta_2}{\Theta_1} = E_y^1 \cdot \frac{\Theta_2}{\Theta_1}, \text{ [J]}.$$

(3)

Получената от (3) стойност на необходимата енергия на удар, за получаване в промишлени условия на брикет с максимална плътност, ще послужи за избор на машина, с която да се работи. Енергията на удара е основна характеристика на ударните машини. Ако на една и съща машина се получават брикети от стружки на различни материали, тогава машината се избира по най-голямата енергия, от енергиите необходими за получаване на брикети с максимална плътност за различните материали. [3, 12, 13]

2. Методика за уплътняване на железен прах

2.1. За провеждане на експериментите за уплътняване на железен прах се използва лабораторен стенд показан на фиг.1 и инструменталната екипировка показана на фиг.2.

2.2. Едрината на частиците на предоставения железен прах марка AS29-100, се определя на Fritch Analysette 22 Nano Тес+ (ИИКТ-БАН). Резултатите са показани на Фиг.3.

2.3. За получаване на по-добро сцепление на частиците се използва цинков стеатат, в количество 1 % от масата на железния прах.

2.4. Поради това, че до сега не са били провеждани експерименти за уплътняване на метални прахове, не може да се определи масата на праха, при която се получава максимална плътност. Експериментите ще се проведат при маса на железния прах: 3.5 gr, 4 gr и 4.5 gr.

2.5. След изваждане на цилиндричните образци от уплътнен прах, се измерва теглото им G_n с аналитична везна.

Така полученият брикет 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 μ m.

Таблица 1. Данни за параметрите на ударния процес и на образци от железен прах

№	Озн.	V _y , m/s	A _y , m/s ²	Нотс, mm	Н бр, cm	D бр, cm	V бр, cm ³	G, gr	ρ, gr/cm ³	E _y , J	E _c , J/cm ³	F _y , N
1	P7	7.35646	2386.896	17.005	0.176	2.011	0.558736	3.0214	5.407565	246.7758	441.6682	21768.49
2	P8	6.98668	2287.302	16.503	0.181	2.018	0.578616	2.9597	5.115135	222.5905	384.6945	20860.19
3	P9	7.35451	2402.917	16.902	0.148	2.018	0.473123	3.1002	6.552636	246.645	521.3131	21914.6
Средно 3 гр		7.23255	2359.038	16.80333	0.1683	2.015	0.536825	3.0271	5.691779	238.6704	449.2253	21514.43
1	P4	7.37522	2310.821	14.71	0.17	2.012	0.540225	3.5303	6.534872	248.036	459.1349	21074.69
2	P5	6.99422	2284.346	15.526	0.193	2.039	0.629885	3.699	5.872498	223.0712	354.1457	20833.24
3	P6	7.36929	2296.861	14.414	0.159	2.015	0.506777	3.4249	6.7582	247.6373	488.6515	20947.37
Средно 3.5 гр		7.246243	2297.343	14.88333	0.174	2.022	0.558962	3.5514	6.388523	239.5815	433.9774	20951.77
1	P1	7.37616	2236.851	13.916	0.222	2.038	0.723821	4.0105	5.540737	248.0993	342.7635	20400.08
2	P2	7.32333	2301.987	13.841	0.183	2.045	0.600769	4.075	6.782975	244.5581	407.0752	20994.12
3	P3	7.17439	2261.286	14.534	0.232	2.053	0.767601	4.0088	5.222505	234.7117	305.7731	20622.93
Средно 4 гр		7.291293	2266.708	14.097	0.212	2.045333	0.697397	4.031433	5.848739	242.4564	351.8706	20672.38

От Таблица 1 се вижда, че най-голяма средна плътност $\rho = 6.388 \text{ gr/cm}^3$ се получава при използване на прах с маса 3.5 гр, специфична енергия $E_c = 434 \text{ J/cm}^3$ и скорост на удара $V_y = 7.246 \text{ m/s}$. При това, максималната плътност от трите експеримента е $\rho^{\max} = 6.758 \text{ gr/cm}^3$, а минималната плътност е $\rho^{\min} = 5.872 \text{ gr/cm}^3$.

Трябва да се обърне внимание на факта, че масата на получаваните цилиндрични образци G е с около 0.5 гр по-малка, от първоначалната маса на поставения в матрицата материал. Това се обяснява с условията на експеримента, при който действието на силни въздушни струи, излизаци от двигателя, част от праховите частици излизат от матрицата и се разпръсват в околното пространство.

От сечения се определят автоматично диаметра $D_{бр}$, [mm], и височината $H_{бр}$, [mm], на брикета, с точност до четвъртия знак.

С данните за $D_{бр}$ и $H_{бр}$ се определя обема на брикета Θ , [cm³], и се пресмята специфичната енергия E_c по формула (2).

2.6. Масата на брикета $G_{бр}$ (в грамове) се определя, чрез измерване с аналитична везна (Лаборатория «Трибология» при ТУ-София), с точност до четвъртия, после се пресмята плътността $\rho_{бр}$, по формулата:

$$\rho_{бр} = \frac{G_{бр}}{\Theta}, [\text{gr/cm}^3].$$

(4)

2.7. На Фиг.2 е показана инструменталната екипировка, използване за брикетирание. Диаметърът на отвора на матрицата, в който се насипват стружките, е $D_m = 20 \text{ mm}$. Диаметърът на поансона $D_n = 19.6 \text{ mm}$. Между матрицата и поансона има хлабина 0.2 mm на страна. Тази хлабина служи за излизане на въздуха, който се намира между микрочастиците, при уплътняването им.

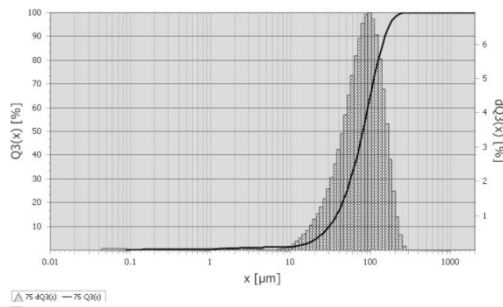
3. Резултати от изследванията



Фиг.1. Лабораторен стенд за сложен удар с високоскоростна камера



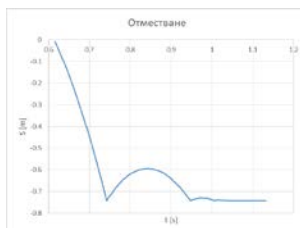
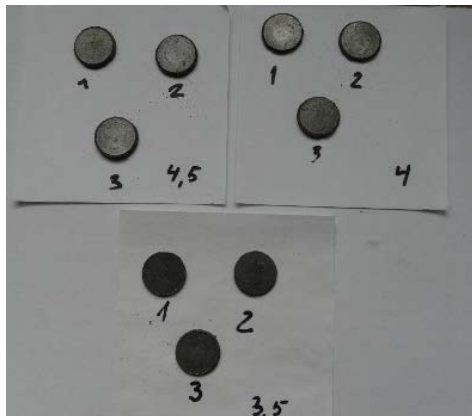
Фиг.2. Инструментална екипировка за брикетирание на метални стружки



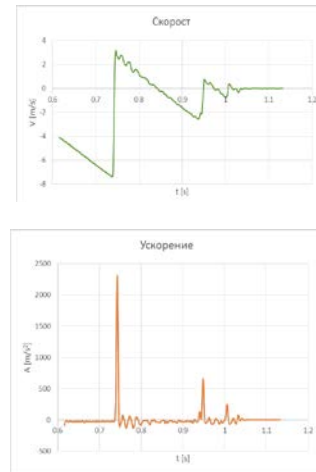
Фиг.3. Диаграми за разпределение едрината на частиците от железен прах

На фиг.3 са показани резултатите от изследването едрината на микрочастиците на железния прах, от графиката се вижда че в прахта има частици с едрина от 30 до 217 μm. Но 80% от частиците са в интервала от 60 до 150 μm.

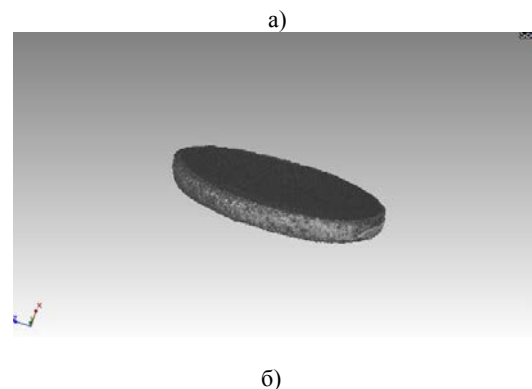
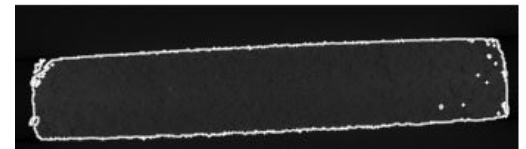
На Фиг.4 са показани получените цилиндрични детайли, след ударно уплътняване на железен прах. Означенията 4.5, 4, 3.5 определят масата на детайлите от една група. В Таблица 1 са показани данните от тези експерименти.



Фиг.4. Цилиндрични образци с маса 4.5 gr, 4 gr, 3.5 gr получени след уплътняване на железен прах чрез сложен удар



Фиг.5. Диаграми на път, скорост и ускорение за един случай на уплътняване на железен прах. На Фиг.5 са показани диаграмите за изменение на път, скорост и ускорение за един удар, при уплътняване на железен прах



Фиг.6. Снимка с рентгенов томограф на брикет от Железен прах, деформиран чрез сплескване: а – напречно сечение по височина през центъра на брикета; б – 3- D изображение

Рентгеновите снимки на образците не дават добра представа за структурата им, поради малкия размер на микрочастици. За изясняване на структурата и големината на въздушните пори е необходимо, структурата да се наблюдава с електронен микроскоп.

4. Изводи

- При специфична енергия $E_c = 488 \text{ J/cm}^3$ и скорост на удара $V_y = 7.37 \text{ m/s}$ е получен цилиндричен образец от

железен прах с плътност $\rho = 6.7582 \text{ gr/cm}^3$ –Таблица 1. Тези параметри на ударния процес трябва да се приемат като най-добри за уплътняване на предоставения железен прах, при използваната тяга $R = 226 \text{ N}$ на ракетния двигател .

- В работата е показано, че при уплътняване на железен прах със скорост на удара 15 m/s , е получен цилиндричен образец с размери $H = 20 \text{ mm}$, $D = 25 \text{ mm}$ и плътност $\rho = 7.4 \text{ gr/cm}^3$, при плътност на монолитен материал $\rho = 7.5 \text{ gr/cm}^3$. Основна роля в този случай играе голямата енергия на удара, която се получава в резултат на високата скорост на удара (в съответствие с формула (1), сумиран с ефекта от високоскоростния удар. Тъй като, в РБългария има високоскоростен чука (произведен и експлоатиран от фирма „Б+К“ ООД), на който може да се постигне скорост на удара $6\text{-}18 \text{ m/s}$, е възможно да се внедри подобна технология.

- Получените резултати в настоящото наше изследване, 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 и до 20 % при брикетиране [1], в сравнение с обикновен удар, в резултат на което се подобряват технико – 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.

Благодарности.

Изследването в настоящата работа е осъществено с подкрепата на проект “Високоскоростни управляеми ударни процеси при брикетиране на метални отпадъци (стружки и прахове)”, договор № ДФНП-94/04.05.2016, финансиран от „Програма за подпомагане на младите учени в БАН”.

Използвана литература:

1. Отчет за изпълнение на договор ДО 02-262/2008 с Фонд „Научни Изследвания”, 10.09.2013, София.
2. T.Penchev, I.Altaparmakov, Experimental Investigations on “Controlled Impact” Effect, International Conference METAL 2013, Brno, 15-17.05, 2013.
3. Т.Пенчев, И.Алтърпармаков, Експериментално изследване на брикетиране с удар на метални стружки, Международна научна конференция МТФ’2012, 18-20.10. 2012, ТУ-София, България.
4. В.Г.Степанов,Оборудование для обработки металлов высокоэнергетическими методами, Ленинград, Машиностроение, 1978,
5. В.Г.Степанов, И.А.Шавров, Высокоэнергетические импульсные методы обработки металлов, Ленинград, Машиностроение, 1975.
6. P.Bodurov, T.Penchev, Industrial Rocket Engine and its Application for Propelling of Forging Hammers, Journal of Material Processing Technology, 2005, 161, 504-508.
7. G.Gustavson at all., Experimental studies and modeling of high –velocity loaded iron-powder compacts, Powder Technology, 2014, 268, 293-305.
8. P.Doremus 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.
9. P.Scoglund, High density PM parts by high-velocity compaction, Powder Metallurgy, 2001, 44, 199-202.
10. F.Dore at all., High velocity compaction: Overview of material, Applications and Potential, Materials Science Forum, Trans Tech Publications, 2007, 293-296.
11. А.П.Поляков, Влияние параметров динамического нагружения на характер распространения ударных волн в порошке, Изв. ВУЗ, Цветная металлургия, 2009, № 1, 30-34.
12. T.Penchev, D.Karastioianov, V.Monov, 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.
13. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М., Штамповка на высокоскоростных молотах, М., Машиностроение, 1978.
14. T.Penchev, S. Gyoshev , D.Karastioianov, Study of parameters of controlled impact by impact deformation of elastic and elastic-plastic materials, Proceedings of Recent Advances in Mechanical Engineering Conference, 21-23.11.2014, Florence, 113-118.