文章编号：1000-5773(2004)01-0059-11

混合物冲击压缩后平衡态的研究*

林华令[1]，黄风雷[1]，胡玉新[2]，于万瑞[2]，方剑青[2]

(1. 北京理工大学机电工程学院，北京 100081；
2. 国防科技大学理学院应用物理系，湖南长沙 410073)

摘要：将混合物组元颗粒在三维网格内按组元比例随机分布，采用热动力学有限元数值方法，对其冲击压缩过程进行数值模拟。研究了混合物在冲击压缩下趋于热动力平衡过程、热平衡特征时间、压力平衡特征时间和平衡后的热力学状态，得出热平衡特征时间与颗粒度的平方近似成正比，而力平衡特征时间与颗粒度近似成正比。数值模拟了多种合金的冲击压缩特性，其结果与混合物物态方程的体积相加模型、一次冲击绝热线的叠加原理和实验等不同方法获得的结果作了比较，除冲击温度外，各方法得到的结果一致；体积相加模型和叠加原理不能给出合理的混合物冲击温度，但数值模拟能给出合理的混合物冲击温度。

关键词：混合物；数值模拟；热力学平衡；特征时间；冲击温度
中图分类号：O521.2 **文献标识码**：A

1 引 言

自然界中存在各种各样的物质，混合物是普遍存在的方式。复合材料、合金、炸药等是一些特殊的混合物。对混合物的物理力学性能的实验和理论研究，已有许多研究报道[1~5]。理论上，广泛采用体积相加模型计算混合物的物态方程[1]。在混合物冲击压缩数据的计算和实验验证方面，比较常用的是估算混合物冲击绝热线的叠加原理[2~4]。严格来讲，体积相加模型适用于等温等压过程，即对于加入合金中的组元不仅仅要求压力相等，而且还要求温度相等。而叠加原理考虑的是在同样压力下，叠加各组元的一次冲击绝热线上的比容，不考虑在同样的压力下各组元的一次冲击绝热线上的温度差异。

经受冲击压缩过程的混合物，在理论和实验上很难给出组元间经历多次冲击压缩后的平衡状态与一次冲击绝热线的叠加状态间存在的多大差别，组元间在经历力平衡过程中，热是如何趋于平衡的、热平衡与力平衡是如何相互作用的。目前已有采用数值模拟方法验证叠加原理的报道[6]。考虑相邻两颗粒间的热传导，可以估计冲击压缩后的混合物趋于热平衡的时间和混合物的冲击温度[7]。但这些在混合物冲击压缩特性的数值模拟研究中[6,7]，都没有考虑力与热的耦合作用。本研究通过数值模拟方法，考虑了冲击压缩过程中混合物颗粒间力与热的耦合作用，对混合物冲击压缩后的力和热平衡过程及其平衡状态进行研究。

2 混合物的数值模拟模型

混合物的数值模拟模型采用的是其组元材料颗粒在空间随机排列[6]：将混合物模型划分成与颗粒尺寸相对应的三维网格，网格单元内的材料为随机分布的组元材料颗粒，各组元随机分布概率按组元配比确定。为了简化数值模拟，认为材料颗粒间在变形过程中不错位，并且相邻颗粒间不滑移，则不同材料间界面无须设置滑移面。

* **收稿日期**：2003-04-19；**修回日期**：2003-06-25
作者简介：林华令(1963—)，男，博士，高级工程师，主要研究方向为计算流体动力学.
E-mail：linhual7215@sina.com.cn

3 计算方法

本研究对混合冲击压缩及冲击压缩后的热力学平衡过程的数值模拟研究，采用了三维热动力有限元计算方法和计算程序[8~10]：运动方程、质量守恒方程、能量守恒方程采用拉格朗日坐标系描述，引入人为粘性，热流密度向量按富利叶(Fourier)传热定律计算；运动方程采用变分方法的虚位移原理表示成等效积分“弱”形式，对六面体八节点固体单元，采用 Serendipity 线性单元的插值函数；内能守恒方程采用对时间作中心差分，单元间传热按接触面处热流连续条件计算；材料采用各向同弹塑性流体模型，考虑了屈服的硬化效应，塑性区按屈服条件判别；采用三项式物态方程

$$\begin{cases} p = p_c(\rho) + \dfrac{R\rho T}{\mu}\dfrac{3\gamma(\rho)+\tau}{1+\tau} + \dfrac{1}{4}\rho_0\beta_0\sigma^{1/2}T^2 \\ e = \rho_0 e_c(\rho) + \dfrac{3R\rho_0 T}{2\mu}\dfrac{2+\tau}{1+\tau} + \dfrac{1}{2}\rho_0\beta_0\sigma^{-1/2}T^2 \end{cases} \tag{1}$$

式中：p、e、T 和 ρ 分别为压强、相对初始体积的比内能、温度和初始密度，R 为摩尔气体常数，μ 为摩尔质量，ρ_0 为常态密度，β_0 为常态电子热容系数，$p_c(\rho)$ 为冷压，$e_c(\rho)$ 为单位质量的冷能，$\gamma(\rho)$ 为 Grüneisen 参数，$\sigma=\rho/\rho_0$，$\tau=\alpha[T/T_m(\rho)]^\eta$ 为晶格的热贡献，$T_m(\rho)$ 为熔化温度，α 和 η 为常数(可近似取 $\alpha=0.0409$，$\eta=1.606$)。根据冷压 p_c、冷能 e_c、Grüneisen 参数 γ 和熔化温度 T_m 等与密度 ρ 的关系，可用三项式物态方程(1)描述压强和温度变化较宽的固、液状态，材料物态参数的确定可参考有关资料。冷能、冷压和 Grüneisen 参数采用以下方程

$$\begin{cases} p_c = Q\delta^{2/3}\left[\mathrm{e}^{q(1-\delta^{-1/3})} - \delta^{2/3}\right] \\ e_c = \dfrac{3Q}{\rho_{0K}}\left\{\left[\dfrac{1}{q}\mathrm{e}^{q(1-\delta^{-1/3})} - \delta^{1/3}\right] - \left(\dfrac{1}{q}-1\right)\right\} \\ \gamma = \dfrac{g}{2} - \dfrac{2}{3} - \dfrac{v}{2}\dfrac{\mathrm{d}^2(p_c v^g)/\mathrm{d}v^2}{\mathrm{d}(p_c v^g)/\mathrm{d}v} \end{cases} \tag{2}$$

式中 g 为材料参数。

金属的导热系数采用与状态相关的形式[10]

$$k = k_0 v^{-\frac{4}{3}}\mathrm{e}^{-2(\gamma_0-\frac{2}{3})(v-1)} \tag{3}$$

式中 k_0 为初始导热系数，γ_0 为初始 Grüneisen 参数。一些材料参数见表 1。

表 1 材料参数

Table 1 Material parameters

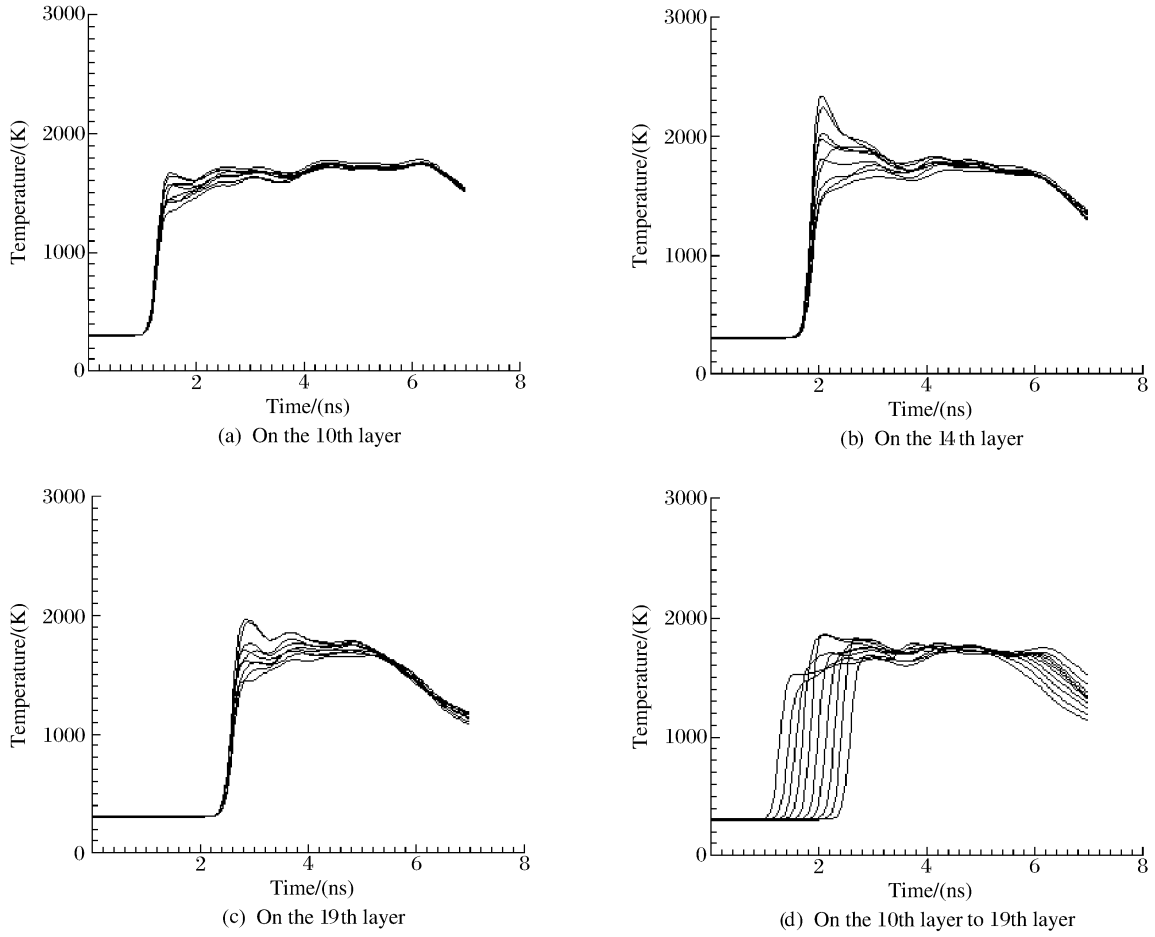
Materials	ρ_0 /(g/cm^3)	Q /(GPa)	q	ρ_{0K} /(g/cm^3)	$\frac{3}{2}g$	μ /(g/mol)	β_0 /[μJ/(g·K^2)]	k_0 /[W/(cm·K)]
Al	2.698	37.230	8.388	2.7558	−0.1430	26.97	41.53	2.37
Cd	8.642	17.413	11.928	8.8814	1.2529	112.40	14.93	2.31
Cu	8.932	56.690	9.911	9.0606	1.0962	63.57	17.45	4.01
Mg	1.776	25.311	6.620	1.8183	0.4292	24.31	54.71	1.56
Ni	8.907	80.621	9.403	9.0039	1.0405	58.68	18.03	0.91
Pb	11.341	18.480	10.342	11.6048	−0.6247	207.20	10.45	0.35
W	19.200	188.726	6.987	19.2845	0.0235	184.00	8.39	1.74
Zn	7.134	25.796	10.433	7.3076	1.1864	65.38	19.57	3.89

4　混合物冲击压缩特性

4.1　冲击压缩下热力学平衡特性

采用铜和铝两种材料组成的混合物,以方形、尺寸为 0.006 cm×0.002 cm×0.002 cm、按 60×20×20 形式划分三维网格单元。76.80%Cu-23.20%Al 混合物模型中各单元随机分布铜和铝两种材料,体积配比为 1∶1,对应的混合物颗粒度为 1 μm。本研究对混合物的冲击压缩采用速度加载 $M(w)+M(0)$ 方法和周期性边界条件[7]:加载速度方向后半部(飞层)质点赋速度 w,前半部(靶)质点赋速度 0;在与质点运动方向垂直的侧面引入质点运动的周期性边界条件[6],以消除边缘稀疏的影响。对周期性边界,考虑了界面传热的周期性[10]:界面单元的外界面温度按单元温度和对应周期性边界上单元的温度,采用热流连续条件计算。

图 1 给出了 $w=4$ km/s 时计算的铜-铝混合物靶内沿加载速度方向第 10～第 19 层温度随时间的变化曲线,其中图 1(a)、图 1(b)和图 1(c)各对应于第 10 层、第 14 层和第 19 层上相邻 9 个单元的温度,图 1(d)对应各层平均温度。从图 1 可见:各层单元温度随时间趋向一致,各层平均温度基本一致,说明对于小颗粒混合物,在冲击压缩过程中颗粒间热传导使混合物各层之间达到比较一致的温度、趋于热平衡,其平衡温度可以作为混合物的冲击温度;经历初始压缩到热平衡的时间大约 3 ns。

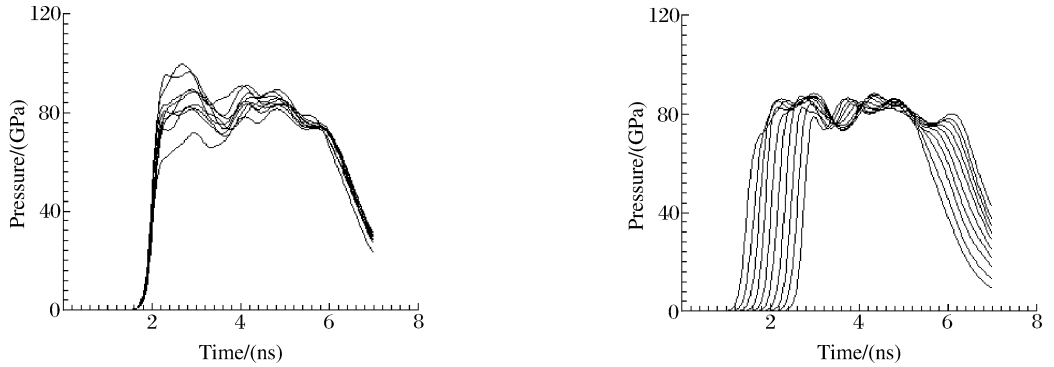


($w=4$ km/s;Grain dimension 1 μm;(a)～(c) Temperatures of nine elements on one layer;
(d) Averaged temperatures on ten layers)

图 1　温度随时间的变化

Fig. 1　Curves of temperature vs. time

同样,从图 2 中计算的铜-铝混合物靶内沿加载速度方向第 10～第 19 层压强随时间变化曲线可见:同一层单元压强随时间波动、并趋向一致,各层平均压强基本一致;经历初始压缩到力平衡(本研究用压强平衡确定)的时间大约 3.6 ns。



(a) Pressures of nine elements on the 14th layer (b) Averaged pressures on ten layers

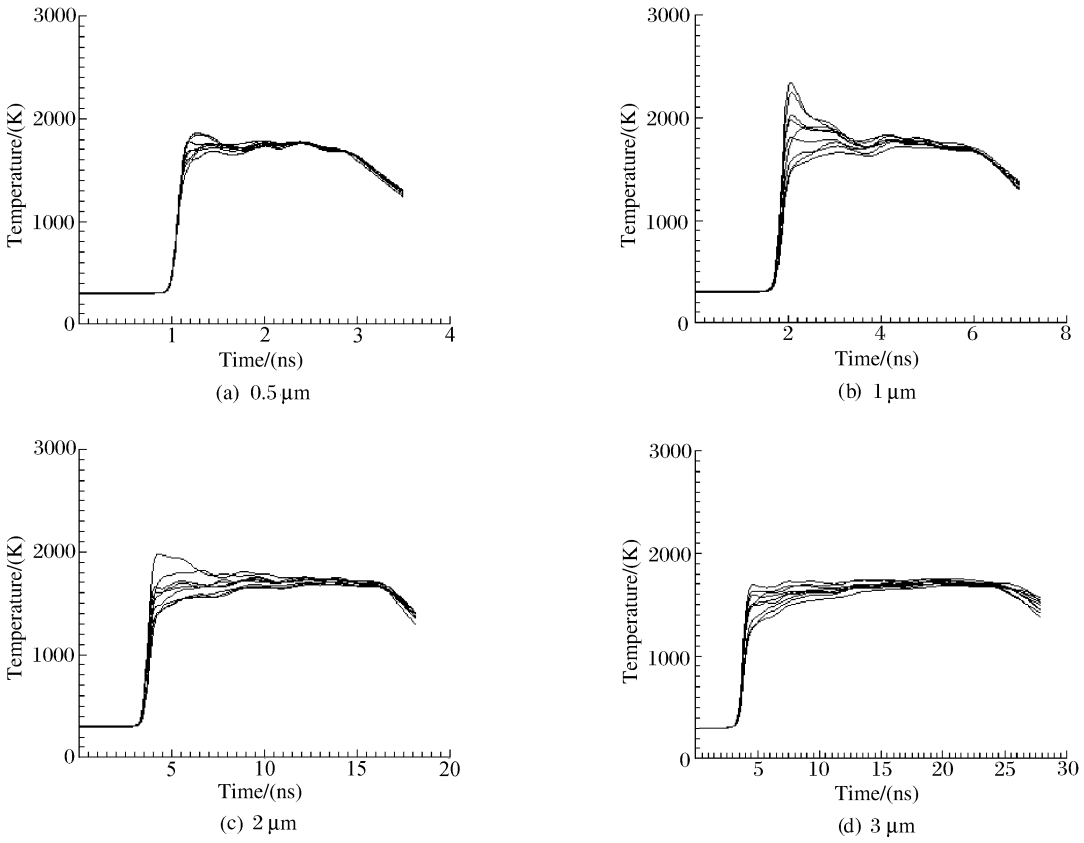
(w=4 km/s;Grain dimension:1 μm)

图 2 压强随时间变化

Fig. 2 Curves of pressure vs. time

4.2 颗粒度对热力学平衡过程的影响

图 3 给出了不同颗粒度铜-铝(组元体积配比 1∶1)混合物靶内沿加载速度方向第 14 层上相邻各 9 个单元的温度随时间的变化曲线,加载速度 w=4 km/s。



(w=4 km/s;Temperatures of nine elements on the 14th layer)

图 3 不同颗粒度对应的温度随时间的变化

Fig. 3 Curves of temperature vs. time for different grain dimensions

从图 3 可以大致确定混合物冲击压缩下达到热平衡所经历的时间 t_T(热平衡特征时间),结果见表 2。表 2 中也给出了热平衡时的冲击温度 T_H 和对应的冲击压力 p_H;为了考察热传导和材料弹塑性效应(材料的弹塑性参数见文献[11])对混合物冲击压缩性能的影响,也给出了不考虑热传导的结果和计及材料弹塑性效应的结果。从表 2 可见:材料弹塑性效应对混合物冲击压缩性能的影响在一定情况下可以忽略;热传导对小颗粒度的混合物影响较大,以经历同一冲击压缩的时间考察,颗粒度越小,则颗粒间温度的分散性越小,混合物达到热平衡所经历的时间 t_T 也就越小;颗粒度的大小对混合物冲击压缩状态(包括冲击压力、冲击温度和比容等)影响不大,如果以单元量取平均法[7]计算冲击温度,则在冲击压缩时间内,混合物的冲击温度基本保持不变,从图 1(d)可以明显看出这种情况。

表 2　不同颗粒度数值模拟结果

Table 2　Results of numerical simulation with different grain dimension

(76.80%Cu-23.20% Al mixture;w=4 km/s)

d/(μm)	p_H/(GPa)	T_H/(K)	v	t_T/(ns)	t_P/(ns)
0.5	82.59±4.17	1733.1±18.4		1.5	1.8
1	81.71±4.43	1738.6±21.9	0.7210±0.0446	3	3.6
1[(a)]	81.76±4.70	1718.1±244.1	0.7207±0.0427		3.6
1[(b)]	81.81±4.54	1743.9±22.0	0.7210±0.0445	3	3.6
2	81.56±2.29	1701.7±26.1	0.7222±0.0413	12	7
3	81.22±2.29	1705.4±48.8		>22	11
10	81.74±4.55	1717.9±146.5			35

Note:(a) Ignoring the heat conduction. (b) Considering the elasticity and yield of materials.

对照表 2 的 t_T 与 d 之间的关系,在冲击压缩过程中,混合物整体达到热平衡的时间与颗粒度的平方成正比的结论成立,即 $t_T \propto d^2$。从给出的不同颗粒度铜-铝(组元体积配比 1∶1)混合物单元压强随时间变化,可以确定混合物冲击压缩下达到力平衡所经历的时间 t_P(力平衡特征时间),结果见表 2。从表 2 可见,力平衡特征时间与颗粒度成正比,即 $t_P \propto d$。

热平衡特征时间、力平衡特征时间与颗粒度间的关系可以从热传导、动力学自模过程得到解释。但动力学与热传导耦合过程不符合自模过程条件,所以混合物的状态平衡特征时间 $t_T \propto d^2$、$t_P \propto d$ 关系是近似的。只有在 t_T 与 t_P 相差较大,即在颗粒度 d 很小(小于 1 μm)、或者在颗粒度 d 很大(大于 10 μm)时,$t_T \propto d^2$、$t_P \propto d$ 能比较好地成立。

图 4 给出了铜-铝(组元体积配比 1∶1)的状态平衡特征时间与颗粒度的关系。从本文下面对混合物或合金冲击压缩下的热平衡和力平衡数值模拟结果可见,图 4 对一般混合物或合金都可作参考。

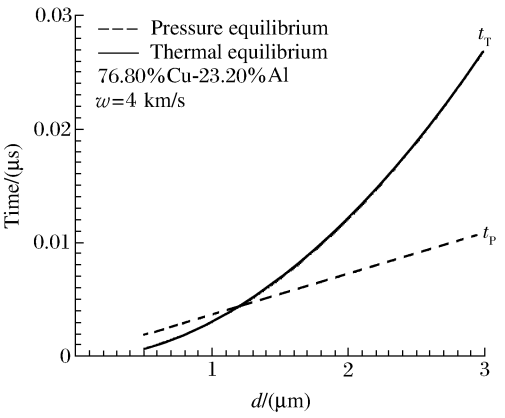


图 4　平衡特征时间与颗粒度之间的关系

Fig. 4　Relation between characteristic time of equilibrium and grain dimension

4.3　合金的冲击压缩特性

表 3 给出了不同加载速度下数值模拟 76.80%Cu-23.20%Al混合物(体积配比 1∶1)结果。从表 3 可见,混合物在冲击压缩下热平衡特征时间与加载速度或冲击压缩状态关系不大。

按三项式物态方程(10)及材料参数,可计算 76.80%Cu-23.20%Al 混合物的初始比内能 e_0=915 (J/cm^3)。根据表 3,在数值模拟误差范围内,可以检验冲击波关系式[2] $e_H - e_0 = (1/2)(p_H + p_0)(1-v)$ 成立。

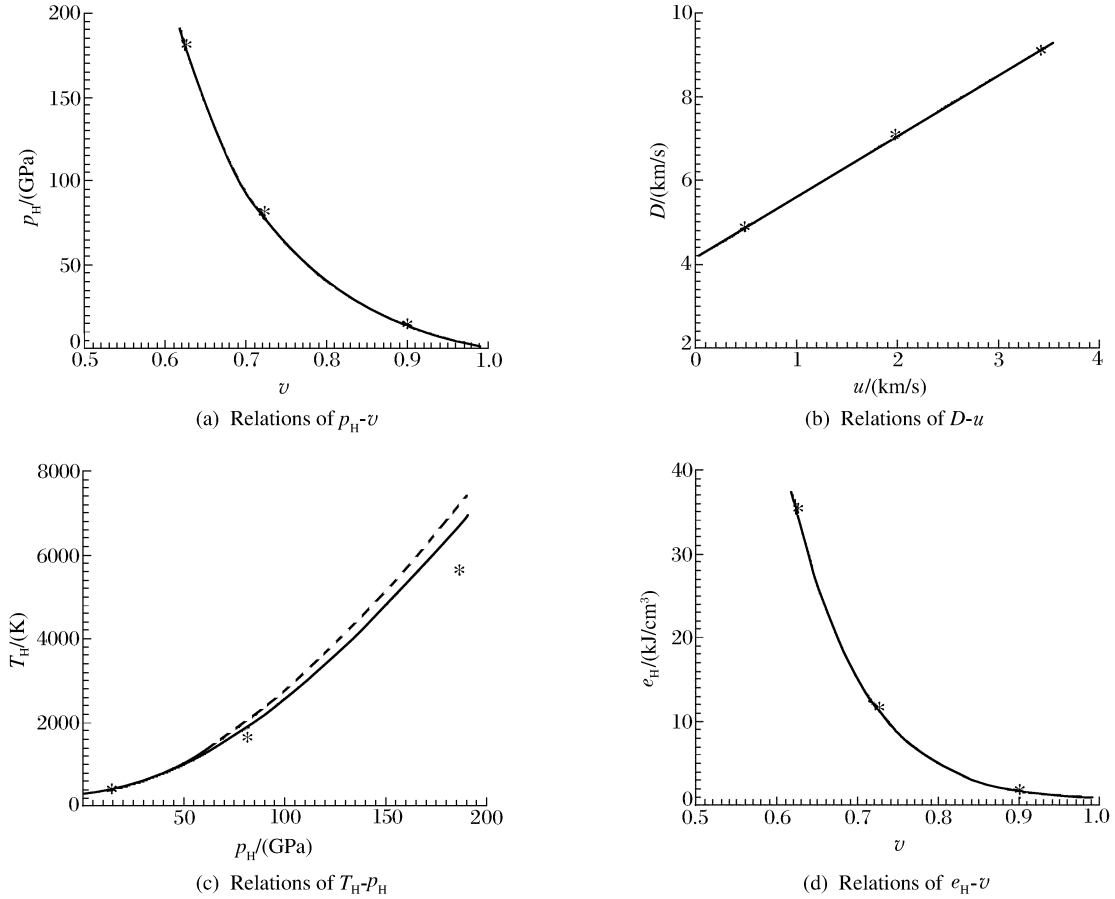
表 3 不同加载速度下数值模拟结果

Table 3 Results of numerical simulation with different loading velocities

(76.80%Cu-23.20%Al mixture; $d=1$ μm)

w/(km/s)	p_H/(GPa)	T_H/(K)	v	e_H/(kJ/cm^3)	t_T/(ns)
0.1	14.12±0.80	395.0±1.7	0.9005±0.0225	1.66±0.09	4
0.4	81.71±4.43	1738.6±21.9	0.7210±0.0446	12.13±0.58	3
0.7	185.89±9.57	5941.8±58.5	0.6244±0.0517	35.24±1.62	3

图 5 给出了 76.80%Cu-23.20%Al 混合物的冲击绝热线,其中实线为按体积相加模型[1]采用热平衡和力平衡计算的混合物冲击压缩状态,星号为考虑颗粒度为 1 μm 的混合物热动力学数值模拟结果,虚线为按叠加原理[2]计算的结果,虚线对应的冲击温度按组元的体积百分比叠加其一次冲击绝热线上的温度得到。从图 5 可见:体积配比为 1∶1 的铜-铝混合物在冲击压缩下,热动力学数值模拟结果与体积相加模型和叠加原理的结果符合得相当好。对于冲击温度,无论是热力学平衡态法,还是按照叠加冲击绝热线法,数值模拟结果与它们的结果均有差异。因为考虑了混合物组成颗粒间在冲击压缩后的热传导和接触面间力的相互作用,数值模拟结果的合理性明显。尤其是对混合物在热力学平衡后的冲击温度,体积相加模型和叠加原理都不能给出合适的结果。

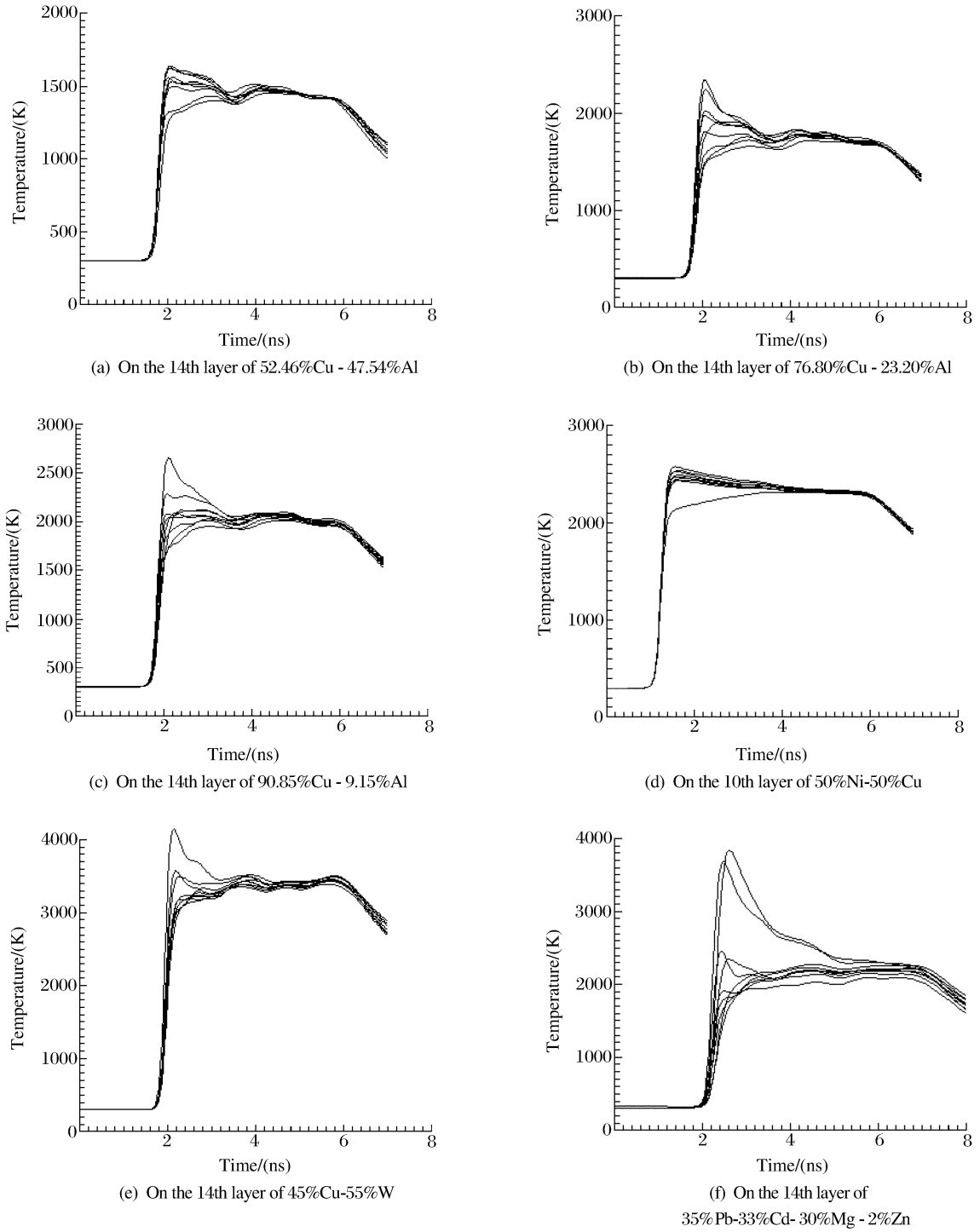


(—— Method of pressure equilibrium and thermal equilibrium;
----- By volume percentage of superposition Hugoniot; * Numerical simulation)

图 5 铜-铝混合物(体积配比 1∶1)冲击绝热线

Fig. 5 Hugoniot curves for 76.8%Cu-23.20%Al mixture

表 4 给出的是一些合金冲击压缩特性数值模拟结果,其中加载速度为 4 km/s 和 7 km/s,颗粒度为 1 μm。从表 4 和图 6 可见,不同组分和配比的合金,其热平衡特征时间在数量级上是一致的。由此特征时间,结合热平衡特征时间与颗粒度间的平方关系,可以估计不同颗粒度在冲击压缩下达到热平衡的时间。



(w=4 km/s,Grain dimension:1 μm)

图 6　一些合金的数值模拟结果

Fig. 6　Results of numerical simulation for some alloys

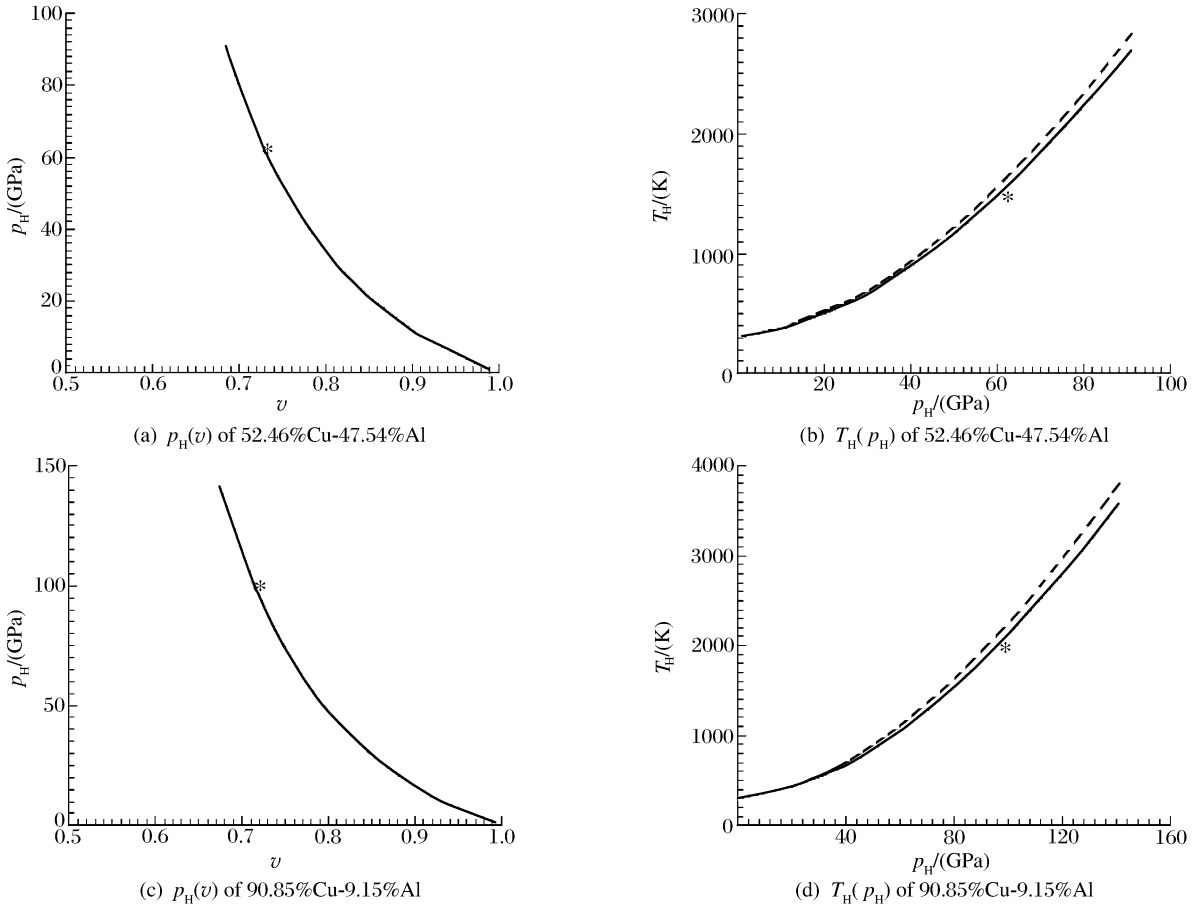
表 4 一些合金的冲击压缩性

Table 4 Shock compression behavior of alloys($d=1$ μm)

Alloys	ρ_0 /(g/cm³)	w /(km/s)	p_H /(GPa)	T_H /(K)	v	t_T /(ns)
52.46%Cu-47.54%Al	4.400	4	62.71±2.68	1461.5±16.0	0.7328±0.0392	3.0
76.80%Cu-23.20%Al	5.904	4	81.71±4.43	1738.6±21.9	0.7210±0.0446	3.0
90.85%Cu-9.15%Al	7.262	4	99.09±4.36	1961.6±13.9	0.7175±0.0436	3.0
50%Ni-50%Cu	8.920	4	128.77±2.64	2218.4±66.8	0.7220±0.0158	4.0
45%Cu-55%W	12.700	4	168.77±6.40	3396.6±27.3	0.6998±0.0334	3.5
35%Pb-33%Cd-30%Mg-2%Zn	4.198	4	46.67±1.70	2205.1±67.4	0.6593±0.0450	5.0
		7	111.30±6.94	7732±226.9	0.5517±0.0570	5.0

图 7 给出了不同配比的铜-铝混合物的冲击绝热线比较，数值模拟中混合物的颗粒度取 1 μm。从图 7 可见：除与冲击温度相关的冲击绝热线外，铜-铝混合物的冲击绝热线数值模拟结果与体积相加模型和叠加原理等结果符合得相当好。

图 8 给出了一些合金的冲击绝热线比较，其中点号为实验结果[4]，数值模拟中混合物的颗粒度取 1 μm。从图 8 可见：除与冲击温度相关的冲击绝热线外，这些合金在冲击压缩下的热动力学数值模拟结果与实验结果、体积相加模型和叠加原理等结果符合得相当好。



(a) $p_H(v)$ of 52.46%Cu-47.54%Al

(b) $T_H(p_H)$ of 52.46%Cu-47.54%Al

(c) $p_H(v)$ of 90.85%Cu-9.15%Al

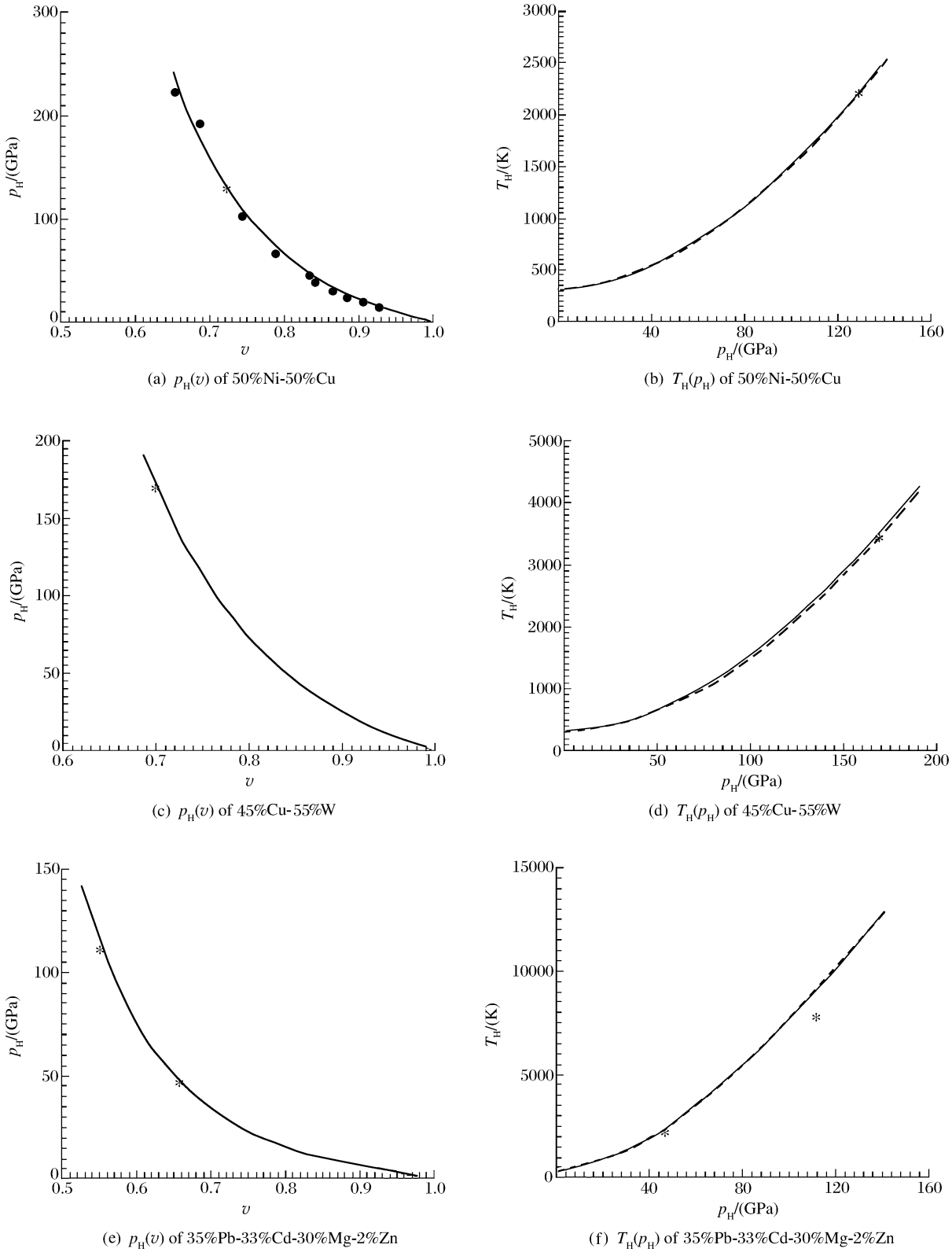
(d) $T_H(p_H)$ of 90.85%Cu-9.15%Al

(—— Method of pressure equilibrium and thermal equilibrium;

----- By volume percentage of superposition Hugoniot; * Numerical simulation)

图 7 铜-铝混合物冲击绝热线

Fig. 7 Hugoniot curves for Cu-Al mixture



(a) $p_H(v)$ of 50%Ni-50%Cu　　(b) $T_H(p_H)$ of 50%Ni-50%Cu

(c) $p_H(v)$ of 45%Cu-55%W　　(d) $T_H(p_H)$ of 45%Cu-55%W

(e) $p_H(v)$ of 35%Pb-33%Cd-30%Mg-2%Zn　　(f) $T_H(p_H)$ of 35%Pb-33%Cd-30%Mg-2%Zn

(—— Method of pressure equilibrium and thermal equilibrium; ● Experiment[4]
----- By volume percentage of superposition Hugoniot; * Numerical simulation)

图 8　铜-铝混合物冲击绝热线

Fig. 8　Hugoniot curves for Cu-Al mixture

5 小 结

对混合物热动力学数值模拟,表明了混合物不同处的热力学状态有差异并随时间波动,在包含较多单元或质点的区域内,它们的平均值波动幅度随时间逐渐减小。小颗粒混合物在冲击压缩过程中,能在较短时间内达到热、力平衡,混合物颗粒间达到热平衡的时间与颗粒度的平方近似成正比,达到力平衡的时间与颗粒度近似成正比。除冲击温度外,数值模拟结果与混合物物态方程的体积相加模型、一次冲击绝热线的叠加原理和实验等不同方法得到的结果一致。体积相加模型和叠加原理不能给出合理的混合物冲击温度,但数值模拟给出了合理的混合物热力学平衡过程和冲击温度。有必要开展对混合物或合金在冲击压缩下的力平衡、热平衡、以及测量其冲击温度的实验研究。

References:

[1] Xu X S, Zhang W X. Introduction to Theory of Practicable Equation of State [M]. Beijing: Science Press, 1986. 231－239. (in Chinese)
徐锡申,张万箱. 实用物态方程理论导引 [M]. 北京:科学出版社,1986. 231－239.

[2] Jing F G. Introduction to Experimental Equation of State(2nd ed) [M]. Beijing: Science Press, 1999. 82－99;183－185;197－199. (in Chinese)
经福谦. 实验物态方程导引(第二版) [M]. 北京:科学出版社,1999. 82－99;183－185;197－199.

[3] Meyers M A. Dynamic Behavior of Materials [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1994. 135－140.

[4] 特鲁宁 P Φ. 高压高温下凝聚物质的性质 [M]. 韩钧万译. 绵阳:中国工程物理研究院流体物理研究所,1996. 290－303.

[5] Shao B H, Liu Z Y. Equation of State for Amorphous Metallic Alloy Powders under Explosive Consolidation [A]. Proceedings of the 2nd International Symposium on Intense Dynamic Loading and Its Effects [C]. Chengdu: Sichuan University Press, 1992. 244－247.

[6] Lin H L. Simulation of Shock Compression Behavior of Mixture by Using the Finite Element Method [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 1998, 12(1): 40－46. (in Chinese)
林华令. 有限元法模拟混合物的冲击压缩特性 [J]. 高压物理学报,1998,12(1):40－46.

[7] Lin H L, Huang F L, Yu W R. Numerical Simulation of Shock Temperature of Mixtures during Shock Loading [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2002, 16(1): 46－56. (in Chinese)
林华令,黄风雷,于万瑞. 混合物冲击温度的数值模拟 [J]. 高压物理学报,2002,16(1):46－56.

[8] Hallquist J O. Preliminary User's Manuals for DYNA3D and DYNAP [R]. UCID-17268, 1979. 1－8.

[9] Hallquist J O. Theoretical Manual for DYNA3D [R]. UCID-19401, 1983. 5－44;58;63.

[10] Lin H L, Huang F L. Numerical Simulation of Thermodynamics Problem [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2003, 17(1): 35－44. (in Chinese)
林华令,黄风雷. 热动力学问题的数值模拟 [J]. 高压物理学报,2003,17(1):35－44.

[11] Wilkins W L. Modeling the Behavior of Materials [M]. Livermore, California: University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, 1986.

Studies on the Equilibrium State of Mixture Following Shock Compression

LIN Hua-Ling[1], HUANG Feng-Lei[1], HU Yu-Xin[2],
YU Wan-Rui[2], FANG Jian-Qing[2]

(1. *College of Electron-Mechanics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing* 100081, *China*;
2. *Department of Applied Physics, College of Science, National University of Defense Technology, Changsha* 410073, *China*)

Abstract: The mixture is as a randomly distributed component grains in three-dimensional meshes. The shock compression behavior of mixtures is simulated numerically by using the 3D thermodynamics fi-

nite element method. We have studied the course of tendency to the thermodynamic equilibrium, the characteristic time of temperature equilibrium, the characteristic time of pressure equilibrium and the equilibrium state of mixture following the shock compression and found the relation between the characteristic time of temperature equilibrium and the square of the grain dimension of mixture and the linear relation between the characteristic time of pressure equilibrium and the grain dimension. The shock compression behaviors of some alloys are simulated numerically, and the results are compared with the fraction volume model of EOS, the superposition principle of the first shock Hugoniot, and the experimental results. Except for the shock temperature, the results are in good agreement with each other. The fraction volume model and the superposition principle cannot yield reasonable shock temperatures, but the numerical simulation method does.

Key words: mixture; numerical simulation; thermodynamic equilibrium; characteristic time; shock temperature

第 12 届全国疲劳与断裂学术会议会讯

由中国腐蚀与防护学会、中国机械工程学会、中国力学学会、中国金属学会、中国航空学会和中国材料研究会联合主办的"第十二届全国疲劳与断裂学术会议"定于 2004 年第四季度在福建厦门召开。这将是一次内容丰富、形式多样、人员广泛的学术盛会。本届会议旨在通过广泛的学术和信息交流,活跃学术思想,明确研究方向,推进我国的疲劳与断裂研究的发展。

1. 会议主要内容

(1) 材料的断裂与循环形变的晶体学;(2) 断裂与疲劳损伤的微细观方面;(3) 金属材料的断裂与疲劳行为;(4) 非金属材料与新型材料(包括工程塑料、生物材料、建筑材料、陶瓷、复合材料、金属间化合物、纳米材料等)的断裂与疲劳行为;(5) 环境对材料与结构的断裂与疲劳的影响;(6) 载荷谱和随机载荷下材料与结构的疲劳与断裂;(7) 材料和结构的疲劳寿命估算、可靠性、延寿及老龄化分析;(8) 计算断裂力学、实验断裂力学、概率断裂力学及可靠性;(9) 线弹性与弹塑性断裂、界面断裂、动态断裂;(10) 断裂与疲劳研究的新方法和新理论;(11) 材料疲劳与断裂研究中的实验及测试技术;(12) 抗断裂与疲劳的设计技术;(13) 断裂与疲劳的失效分析;(14) 断裂与疲劳理论的典型工程应用;(15) 断裂与疲劳分析软件及材料数据库

2. 重要日期

提交论文摘要截止日期: 2004 年 3 月 30 日

提交论文全文截止日期: 2004 年 5 月 1 日

论文录用通知: 2004 年 6 月 1 日

汇交版面费截止日期: 2004 年 7 月 15 日

会议召开日期: 2004 年 11 月 16 日

3. 会议秘书处

地址:沈阳市文萃路 62 号中科院金属研究所,邮编:110016

联系人:王俭秋(Tel:024-23893723),吴晓丹(Tel:024-23915869);传真:024-23894149

E-mail:jiqwang@imr.ac.cn;xdwu@imr.ac.cn

会议网址:http://12fatigue.imr.ac.cn