

参 考 文 献

- [1] Stefansky, T., Shea, J. H., *DAS D - 2500*, (1971).
 [2] Larson, A. R., *LA - 6519 - MS, Rev.*, (1974).
 [3] Fisher, R. H. et al., *AD - 755147*, (1972).
 [4] Cohen, C. J., Berkowitz, H. M., *Int. J. Fracture Mech.*, 7, (2) (1971), 183 - 196.
 [5] Lundergan, C. D., *J. Appl. Phys.*, 34, (7) (1963), 2046.
 [6] Richtmyer, D. R., *Difference Methods for Initial Value Problems*, 2nd ed., New York, Interscience, (1967).

DYNAMIC RESPONSE OF MATERIALS TO RAPID HEATING

Li Qingyuan Zhao Ruian

Abstract

The equation of state for solid materials under rapid heating is discussed. The production, propagation and mechanical damages of thermal shock waves in solids are described. The production, propagation, interferences and fracture damage in an assembly plate under rapid heating are simulated by one-dimensional elastoplastic fluid model.

2[#]纯铁和不锈钢的变形硬化效应

陆景德 张万甲 张玉松

(1983年4月13日收到)

由2[#]纯铁和不锈钢的冲击压缩实验,确定了它们在HEL(两贡组弹性极限)点上的动力学屈服强度和弹性常数。根据实验测得的2[#]纯铁的两贡组数据,给出了50千巴以内的动力学屈服强度随应力的变化。实验结果表明,在所研究的压力区间里,两种材料表现出明显的加工硬化效应。

在平面冲击压缩实验中,如果受冲击试件的径向尺寸远大于它的厚度,试件中心部位可视为一维应变状态。在忽略内部耗散(热传导粘性等)作用时,可用下述本构关系描述试件中的应力——应变状态:

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) = K \varepsilon \\ \varepsilon &= \frac{V_0 - V}{V_0} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \\ \sigma_y &= \sigma_z \\ \varepsilon_y &= \varepsilon_z = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

在弹性变形区有

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= (K(\sigma) + \frac{4}{3}G(\sigma))\varepsilon_x \\ \sigma_y = \sigma_z &= (K(\sigma) - \frac{2}{3}G(\sigma))\varepsilon_x \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Von Mises 屈服条件为

$$\sigma_x - P < \frac{2}{3}Y(\sigma) \quad (3)$$

当取小于符号时,材料处于弹性变形状态;当材料进入塑性变形状态时,方程(3)取等号。因此,在塑性变形区有

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= K(\sigma)\varepsilon_x + \frac{2}{3}Y(\sigma) \\ \sigma_y = \sigma_z &= K(\sigma)\varepsilon_x - \frac{1}{3}Y(\sigma) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

在上述方程中, ε_i 和 σ_i ($i = x, y, z$)分别表示试件中三个正交轴方向上的应变和应力分量(设应力波沿 x 方向传播); P 和 V 分别是流体冲击压力和比容; $G(\sigma)$ 、 $K(\sigma)$ 和 $Y(\sigma)$ 分别代表剪切模量,体积模量和动力学屈服强度。

本工作的目的就是通过实验确定两种材料的动力学屈服强度和弹性常数,以便在实际应用中利用本构方程(1)-(4)分析具体的弹塑性冲击压缩问题。

在铁的冲击压缩实验中,应用如图1所示的冲击装置,实现对试件的平面冲击加载。由电容传感器测量试件自由表面的速度(u_f)-时间(t)剖面。典型的示波器记录如图2所示。

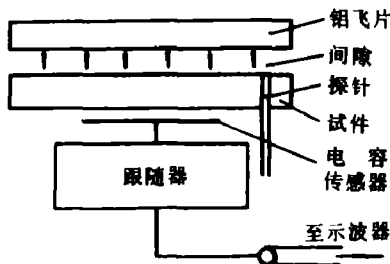


图1 实验装置示意图

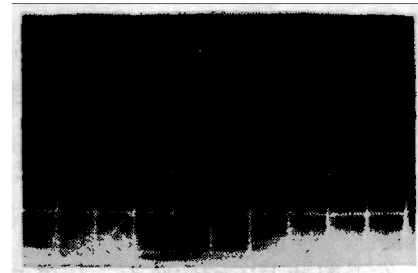


图2 实验记录示波图
灵敏度:0.2伏/格;扫速:0.2微秒/格

最前面的尖脉冲是由电探针给出的时间基准讯号。第一个跳变台阶对应弹性先驱波，后面跟着的是试件达到最终应力的塑性波。它们可给出弹性波速度 C_e 、塑性波速度 C_p 、弹性波和塑性波阵面后的质点速度。

试件的成份，热处理状态和尺寸等列于表1。

表1 试件的性态

材料	密度 (克/厘米 ³)	热处理 状 态	主要合金 元素 (%)	试件尺寸 (毫米)
2*纯铁	7.85	退 火	99.9 Fe	φ 98 × 10
不锈钢	7.83	退 火	1Cr18Ni9Ti	φ 98 × 10

应用关于应力波传播的基本关系式和上述内容的实验测量数据，可计算出对应的 σ_x, V 。用最小二乘法拟合实验数据，给出了2*纯铁在11.2—131千巴应力区间适用的 $\sigma_x - V$ 的表达式：

$$\sigma_x(V) = 0.43 + 183\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right) + 281\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^2 \quad (5)$$

这一关系示于图3，曲线上 HEL 点对应于弹性波阵面上的状态，实验测得的该点参量列于表2。

图中的 $P(V)$ 是流体冲击压力线，它是根据文献[1]所提供的等温压缩数据，由方程

$$P(V) = \frac{P_{T_i} + \Gamma/V_{T_i}[(P_{T_i} + P_{T_{i-1}})\Delta V/2 - E_{T_{i-1}}]}{1 - \Gamma/2V_{T_i}(V_0 - V_{T_i})} \quad (6)$$

逐点计算得到的。式中 $\Delta V = V_{T_i} - V_{T_{i-1}}$ ($i = 1, 2, 3, \dots$)为计算步长，脚标 T 表示等温压缩数据， Γ 为格临爱森系数。

表2 HEL点的参数值

材料	弹性波速 C_e (毫米/微秒)	波阵面后质 点速度 u_p (毫米/微秒)	应 力 σ_H (万巴)	比 容 V_H (厘米 ³ /克)	压 力 P_H (万巴)
2*纯铁	6.09	0.0234	1.12	0.1269	0.664
不锈钢	6.03	0.0143	0.67	0.1274	0.407

在 HEL 点上，同时满足弹性和塑性应力—应变关系。由方程(1)、(2)和(4)，有

$$\left. \begin{aligned} Y_H &= 3/2(\sigma_H - P) \\ G &= Y_H / \left(2 \frac{V_0 - V_H}{V_0}\right) \\ K &= P(V) / (1 - V_H/V_0) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

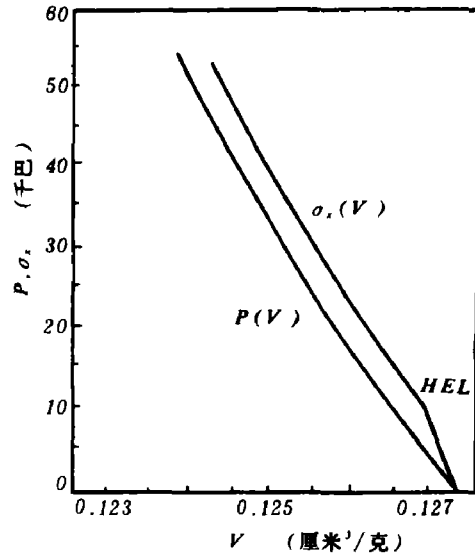


图3 2*纯铁的 $P(V), \sigma(V)$ 曲线

把表2中的数据代入(7)式,计算出 Y_H , G 和 K 的值。应用弹性常数之间的关系

$$\left. \begin{aligned} E &= 9KG / (3K + G) \\ \nu &= (3K - 2G) / 2(3K + G) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

可计算出相氏模量 E 和泊松比 ν 。它们的值列于表3。为了便于比较,表中还给出了相应的静态参量值⁽²⁾。

表3 HEL点上的参量

材 料		Y_H (万巴)	G (万巴)	K (万巴)	E (万巴)	ν
2*纯铁	动态值	0.68	89	173	228	0.28
	静态值	0.32	82	166	212	0.29
不锈钢	动态值	0.40	86	173	222	0.31
	静态值	0.20	76	136	197	0.30

在应力高于HEL的区间里,用方程(4)——(6)可计算出动力学屈服强度随应力的变化。2*纯铁的这一变化曲线示于图4。

归纳上述实验结果可以看出:在冲击压缩条件下,2*纯铁和不锈钢在HEL点上的动力学屈服强度比静态值约大一倍, G , E 和 K 的值约增加10%左右,而 ν 值基本保持不变。图4表明:2*纯铁的动力学屈服强度随冲击压缩的幅度的增加而变大。这都说明上述两种材料具有明显的冲击变形硬化效应。

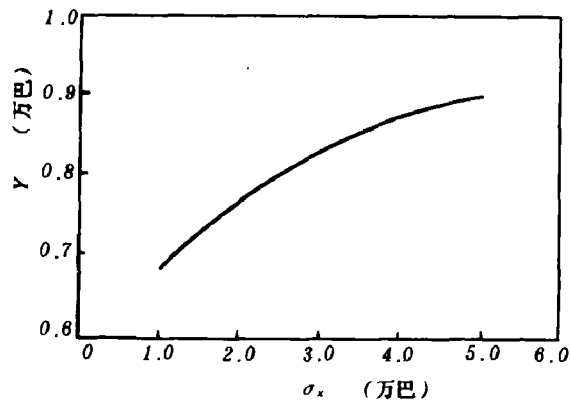


图4 2*纯铁的 $Y(\sigma)$ 关系曲线

在处理实验数据时,应用了文献[1]报导的等温压缩数据。它的适用范围在50千巴以下,故本文只给出了50千巴以下冲击应力所对应的屈服应力值。由于相应材料的成份可能存在着差异,因此只有实验确定了国产材料的等温压缩数据或采用双向应力测量技术⁽³⁾,才能有效地消除由此带来的误差。因受冲击平面性、试件加工和安装精度的限制,本实验HEL点参量的测量精度为 $\pm 5\%$ 。所提供的结果可供计算弹——塑性冲击问题时参考、引用。

本工作得到经福谦研究员的指导和帮助谨表衷心感谢。

参 考 文 献

- (1) Gschneidner K. A., *Solid State Physics*, 18, (1964).
 (2) 饭田修(日), (张质贤译), "物理学常用数表", 科学出版社, (1979).
 (3) Chartagnac, P. F., *J. Appl. phys.*, 53(1982), 948.

DEFORMATION-HARDENING EFFECT OF 2" ARMCO-IRON AND STAINLESS STEEL

Lu Jingde Zhang Wanjia Zhang Yusong

Abstract

The dynamic yield strength and elastic constants of 2" armco-iron and stainless steel at H E L (Hugoniot Elastic Limit) Point were determined by using the shock compression technique. From the measured Hugoniot data of 2" armco-iron, the variation of dynamic yield strength with the stresses ranging up to 50 kbar has been given. These experimental results indicate that these two materials exhibit significantly the deformation-hardening effect in the stress range studied.

用氮当量公式及修正氮当量 公式计算炸药爆轰压力

张厚生

(1983年1月5日收到)

本文提出计算炸药爆轰压的氮当量公式和修正氮当量公式:

$$P = 10.92(\rho_0 \sum N)^2 - 5.74$$

$$P = 11.06(\rho_0 \sum N^*)^2 - 8.40$$

与已知的计算方法相比, 它们是目前较简便, 应用范围较广泛和较准确的计算方法之一。应用这两个公式计算了一些炸药的爆轰压, 其计算值与实测值均取得良好的一致。