

# 压力下碳化钨硬质合金弹性性能的软化现象

王汝菊<sup>1</sup>, 沈中毅<sup>1,2</sup>, 经福谦<sup>2</sup>

(1. 中国科学院 物理研究所, 北京 603 信箱, 北京 100080

2. 中国工程物理研究院 流体物理研究所, 绵阳 621900)

中图分类号: TB551

文献标识码: A

## Pressure induced softening on elastic properties of tungsten carbide alloys

WANG Ru-ju<sup>1</sup>, SHEN Zhong-yi<sup>1</sup>, JING Fu-qian<sup>2</sup>

(1. Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China;

2. Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research, Institute of Fluid Physics, CAEP, Sichuan Mianyang 621900, China)

### 1 引言

碳化钨硬质合金是碳化钨(WC)粉末和金属钴(Co)的烧结合合体,是应用得最为广泛的一类硬质材料。高硬度、高抗压性与适当韧性和塑性结合的优异性能,使它在军事和民用工业中得到非常广泛的应用,是消耗量巨大的超高压容器及装置中不可取代的材料。迄今为止,有关这种材料中各组成相的状态和本质及对整体强度与形变行为的影响,已有相当详细的研究<sup>[1,2]</sup>。但在极端外部工作环境、如高温高压下的性能和行为,其外在性能和结构组成间的联系与物理本质,仍缺乏足够了解。研究硬质合金在高压下的弹性行为有助于了解此种材料在外力作用下的强度本质,测定其状态方程,了解复合材料各组成相在外力及温度下的制约关系,为材料的合理利用和性能改进,提供有用信息。本文应用高精度的超声测量法,在0-500MPa静水压环境中测量了三种不同组分WC硬质合金中的声传播速度,由此计算了它们的弹性常数(体弹模量B、剪切模量G、杨氏模量E和泊松比 $\nu$ )随压力的变化规律。

### 2 实验方法

样品:三种牌号分别为YG2、YG6和YG15的硬质合金样品均系株州硬质合金厂生产,它们的含钴

量按生产标准分别是2%、6%和15%。测量样品为圆柱形或六面体,电火花切割后,两个测量平面作镜面抛光。其密度用排水法测量。

测量设备和方法:声速测量是在内径为30mm的活塞-圆筒型液体介质高压容器中进行的。煤油和变压器油混合液(各占50%)作传压介质,锰铜丝压力计测量压力,精度1MPa。应用美国METAC公司的6600型超声测量仪,用脉冲回波重合(PEO)法测量室温时高压下样品中的纵波声速 $V_l$ 和横波声速 $V_s$ ,工作频率为10MHz。通过不同压力下测得的 $V_l$ 和 $V_s$ ,计算样品弹性参数B、G、E和 $\nu$ 。加压时载荷的最小读数是50kgf。升压和降压速度保持在5MPa/min左右,升降压过程中进行的声速原位测量数据能很好重合。总体测量精度在 $10^{-5}$ 左右。

### 3 测量结果和讨论

样品的常压性能列于下表:

样品	$(g/cm^3)$	$V_l$ (km/s)	$V_s$ (km/s)	$B_0$ (GPa)	$G_0$ (GPa)	$E_0$ (GPa)	
YG2	15.35	7.03	4.30	379	284	682	0.20
YG6	14.38	6.89	4.17	362	258	626	0.21
YG15	13.98	6.63	3.95	324	218	535	0.22

从体弹模量增加的速率 $B_0 = (dB/dP)_{P=0}$ 来看,在相对误差为 $10^{-3}$ 范围内,YG2和YG15的压

收稿日期: 2000-01-20; 修订日期: 2000-06-21

作者简介: 王汝菊(1943-),女,研究员,从事高压物理研究。

力增量可认为大致相同。它们的  $B_0$  0.01; 但 YG6 合金的  $B_0$  则要高得多, 达到 0.014 左右。与此相反, YG6 的  $G_0$  要小于 YG2 及 YG15 的值。按含钨量增加次序, 三种合金的  $G_0$  分别为  $9 \times 10^{-3}$ ,  $2 \times 10^{-3}$  和  $5 \times 10^{-3}$ 。三者的  $E_0$  也有相同的次序。看来, 三种硬质合金弹性参数压力因变量的大小次序与其常压量(见表)不同, 并不随含钨量作单调改变。在高压下 YG6 比其它两种合金不易被压缩, 但允许较大的形变。这种综合性能说明, 与其它两种合金相比, YG6 似乎更适宜于在高压下工作。

由图可见, 三种硬质合金的弹性参数虽均随压力的增加而升高, 但显示出明显的波动起伏特征。YG6 合金的剪切模量和杨氏模量在低压下出现软化, 这些罕见的现象难于在均匀介质或多相介质加权平均方法的基础上加以解释, 相信是和 WC 合金微观结构中存在的各种复杂因素相关的。例如由于 WC 和 Co 的热膨胀系数相差悬殊(3.2 倍), 合金中 Co 相处于强的拉应力状态, WC 相则受到压应力。复杂应力更导致钴以亚稳的  $\beta$ -相(面心立方结构)

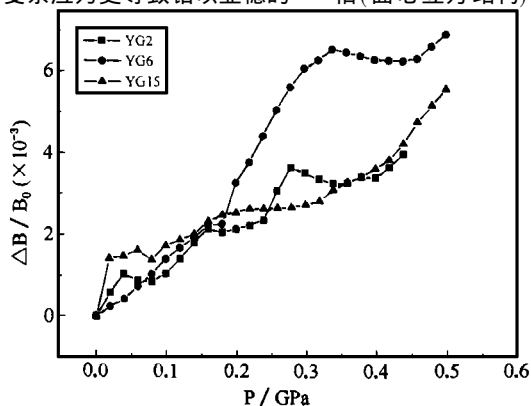


图 1 三种碳化钨硬质合金的 B~ P 曲线

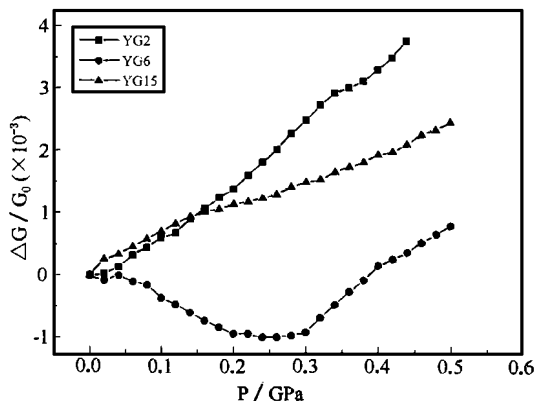


图 2 三种碳化钨硬质合金的 G~ P 曲线

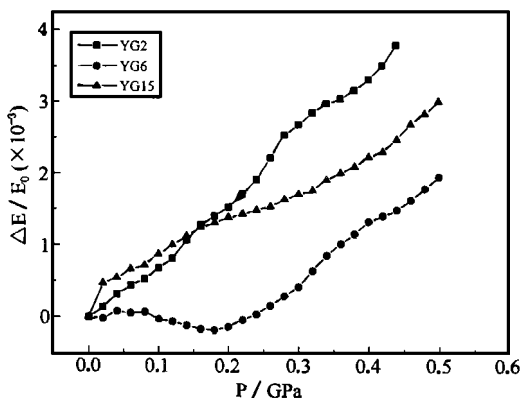


图 3 三种碳化钨硬质合金的 E~ P 曲线

存在。加压可能促使钴局部地恢复密排六方结构。静水压环境下两相巨大的压缩率差别和局域应力的再分布能激起相界上原子间相对的剪切错动<sup>[3]</sup>。加压状态下不能用点阵的扩张来解释剪切模量的软化, 但是能将它与位形的无序化联系起来。文献[4]中模拟计算和实测结果都表明, 非晶态金属的剪切模量比晶态要低 30% - 50% 左右。可以认为, 加压促使 WC-Co 相界上原子有序度严重破坏, 是 YG6 合金剪切软化的主要原因。由此推测, 过低的含钨量不足以产生可感知的畸变相数量, 而过高的含钨量则不足以产生可感知的畸变度, 这也许是中等含钨量(YG6)得以显示较大软化效应的原因。

从以上分析可知, 压力对复合材料弹性性能的影响, 不单取决于构成相的个别性质和相对组分, 还决定于它们对压力响应的协调程度差异和界面的性质。

#### 参考文献:

- [1] M. J. Murray, D. C. Smith. Stress induced cavitation in cobalt bonded tungsten carbide[J]. J. Mater. Sci., 1973, 8: 1706.
- [2] [苏] 洛沙克著, 黄鹤译. 硬质合金的强度和寿命[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990. 6
- [3] 沈中毅, 洪景新, 殷岫君, 张云, 何寿安. 高压下非晶铁中局域结构和应力变化的计算机模拟[J]. 物理学报, 1988, 37: 283
- [4] D. Weaire, M. F. Ashby, J. Logan, M. J. Weins. On the use of pair potentials to calculate the properties of amorphous metals[J]. Acta Metall., 1971, 19: 779-788.