

[文章编号] 1004-0609(2001)S1-0088-04

静液挤压钨合金的显微组织与力学性能^①

张朝晖, 王富耻, 李树奎

(北京理工大学 机械工程与自动化学院, 北京 100081)

[摘 要] 含钨量较高的 W-Ni-Fe 密度高合金具有密度高、强度与韧性配合较好等特点, 适合用作动能穿甲弹及防辐射屏蔽材料; 而静液挤压技术在脆性材料变形强化方面具有很大的潜在优势。研究了静液挤压 93W-4.9Ni-2.1Fe 合金的性能与显微组织, 并与传统的旋锻态 93W-4.9Ni-2.1Fe 合金进行了比较。结果表明, 经静液挤压变形强化的高比重钨合金, 硬度分布和显微组织更均匀; 性能更好。

[关键词] 静液挤压; 钨合金; 变形强化; 性能; 显微组织

[中图分类号] TG 376.4

[文献标识码] A

高密度钨合金是一种以 W 为基体, 同时加入少量的 Ni, Fe 等元素组成的合金。由于其具有高密度、较好的强度与韧性配合而成为战斗部的关键材料之一, 尤其在动能穿甲弹及防辐射屏蔽体上具有广泛的应用^[1]。静液挤压技术是一种先进的变形加工工艺^[2], 特别是在脆性材料变形强化方面具有很大的潜在优势。

钨合金经静液挤压后其变形强化效果是非常明显的。和通常的钨合金变形强化工艺即旋锻工艺相比, 静液挤压工艺对钨合金变形强化的优势主要体现在两个方面, 其一是在变形量相同的条件下, 静液挤压后钨合金的强度要高于经旋锻处理后钨合金的强度; 其二是在静液挤压工艺下, 特别是合理地选择挤压工艺参数后, 钨合金的变形能力相对而言得到了很大幅度的提高, 即对静液挤压工艺而言, 仅一次挤压就能使钨合金获得 60%~80% 的变形量; 而对于旋锻工艺, 当一次变形量超过 20% 时废品率就会大大提高。因此, 静液挤压工艺是钨合金目前最为有效的一种变形强化工艺^[2,3]。本文作者对静液挤压 93W-4.9Ni-2.1Fe 合金的显微组织与力学性能进行了研究, 并与传统的旋锻态 93W-4.9Ni-2.1Fe 合金进行了比较。

1 实验

所用的材料为烧结态 93W 合金材料, 其成分为: 93W-4.9Ni-2.1Fe, 经粉末冶金液相烧结制备而成^[4]。通过兵器工业部第五二研究所研制的静液

挤压设备(图 1 所示)制备出挤压变形量分别为 22.5%, 36%, 48%, 59% 和 85% 的钨合金试样。在挤压过程中采用直线型凹模型线, 模具角度 $2\alpha=60^\circ$, 高压润滑介质选用 30# 机油^[5~7]。

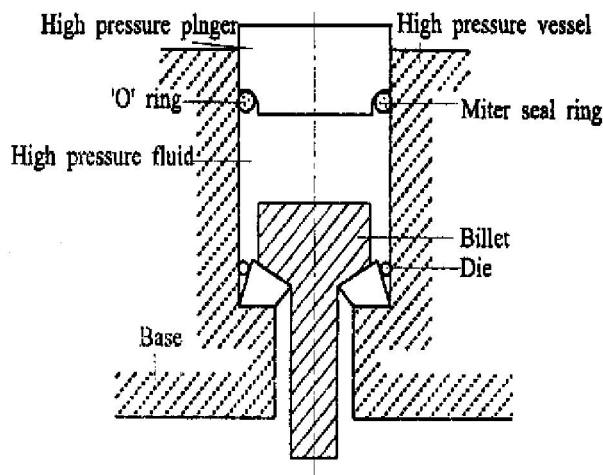


图 1 静液挤压设备

Fig. 1 Hydrostatic extrusion apparatus

首先通过金相实验对不同挤压变形量的钨合金微观组织进行观察, 并对每种试样的中心及边缘的微观组织进行硬度测试; 其次通过万能拉伸实验机及 Hopkison 杆装置对试样进行静、动态拉伸实验, 测试不同挤压变形量条件下钨合金试样的抗拉强度及延伸率随挤压变形量的变化关系曲线。

2 结果及讨论

2.1 静液挤压 93W 合金的微观组织

钨合金是由硬的钨颗粒和软的基体相组成的双

① [收稿日期] 2000-11-14; [修订日期] 2001-02-02

[作者简介] 张朝晖(1972-), 男, 讲师, 博士。

相合金材料。在没有经过挤压变形之前, 钨颗粒基本呈球形较均匀地分布于基体相之中, 如图 2(a) 所示。经过静液挤压塑性变形之后其组织结构发生了显著变化, 即钨颗粒沿着变形方向被拉长为椭球形, 在金相照片上表现为椭圆形, 相应的钨颗粒之间的基体相也被挤压成条状, 如图 2(d)~(e) 所示。随着挤压变形量的增加, 钨颗粒的变形也越来越明显, 直至最终形成近似纤维化的组织^[8,9], 如图 2(f) 所示。显微组织的变化所带来的直接效应是钨合金材料强度的提高。

2.2 静液挤压 93W 合金的力学性能

表 1 所示为静液挤压与旋锻 93W 合金的力学性能数据, 图 3 所示为静液挤压变形量与合金的动态抗拉强度 σ_{dl} 、动态抗压强度 σ_{dy} 、静态抗拉强度 σ_l 、延伸率 δ 之间的关系曲线。从中分析可知:

1) 在变形量基本相同的条件下(表 1 中 1 号试

样与 2 号试样), 静液挤压工艺对钨合金的变形强化效果明显好于旋锻工艺。静液挤压后钨合金的静态抗拉强度、动态抗拉强度、动态抗压强度均高于旋锻钨合金; 而静液挤压钨合金的延伸率要远高于旋锻钨合金; 同时其硬度变化梯度较小。这表明钨合金在静液挤压时, 由于试样受到良好的变形力学条件而使得钨合金的微观组织变形均匀, 同时钨颗粒与粘结相中产生的微观损伤较少^[10], 从而使得其变形强化效果好于普通的旋锻工艺。

2) 随着挤压变形量的增大, 钨合金的静态抗拉强度、动态抗拉强度和动态抗压强度都在不断地增大。这主要是由于以下两个方面的因素引起的, 其一是宏观变形使得钨合金的组成相即钨颗粒和粘结相中的位错不断地增殖、塞积, 导致位错密度的增大, 阻碍了位错的继续运动, 从而导致合金的变形抗力增大, 最终使钨合金的强度得以提高; 其二是随着挤压变形量的增大, 钨颗粒不断地被拉长,

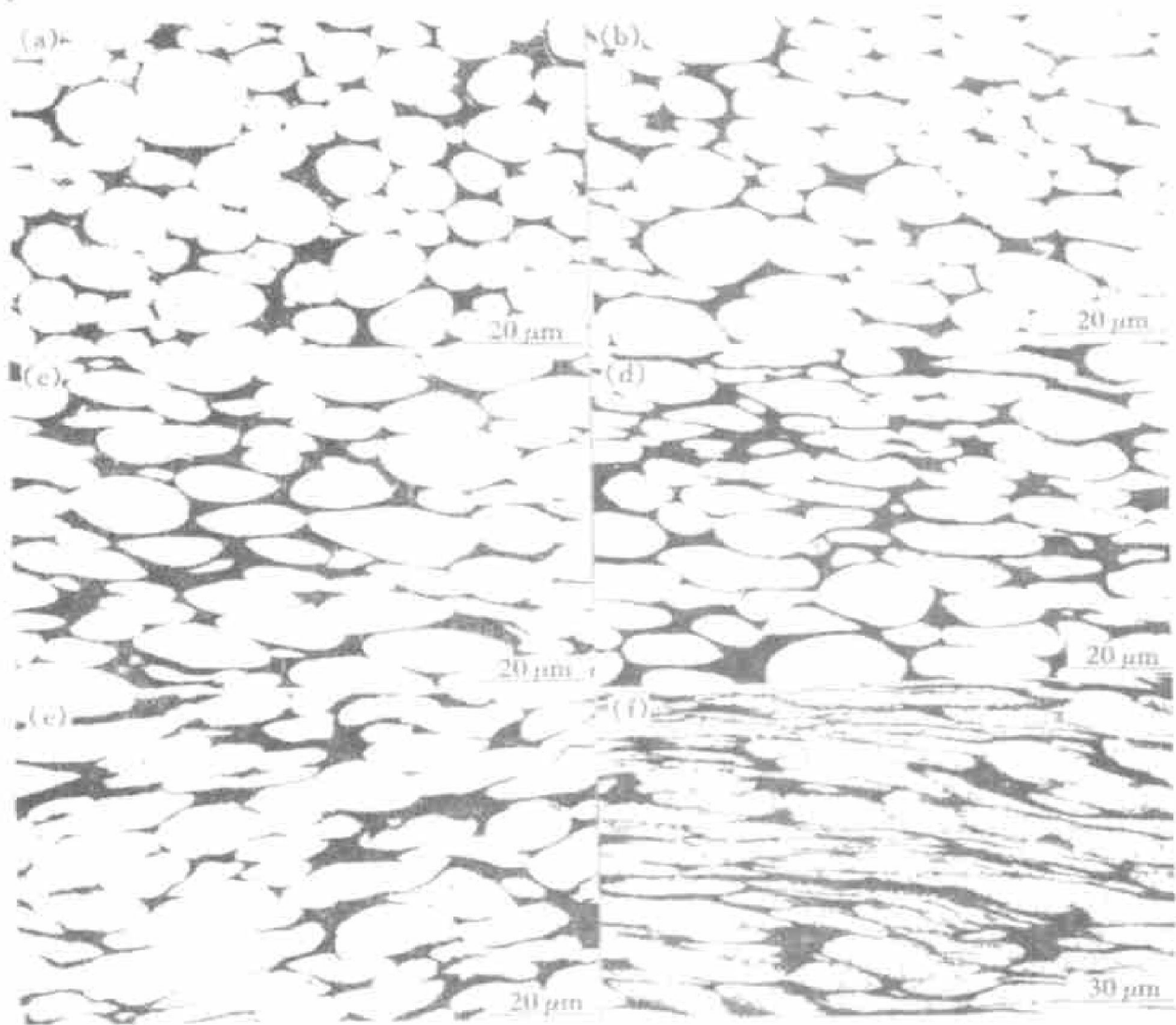


图 2 静液挤压 93W 合金的显微组织

Fig. 2 Microstructure of hydrostaticalloy extruded 93W alloy

(a) —As-sintered, transverse sections; (b) —Deformed by 22.5%; (c) —Deformed by 36%;
(d) —Deformed by 48%; (e) —Deformed by 59%; (f) —Deformed by 85%

表 1 静液挤压与旋锻 93W 合金的力学性能

Table 1 Mechanic properties of 93W alloy deformed by hydrostatic extrusion and swaging

Number	Amount of deformation / %	Static tensile strength/ MPa	Elongation / %	Hardness from core to surface (HRC)	Dynamic tensile strength/ MPa	Dynamic compression strength/ MPa
1 (swaged)	20	1 135	13	40, 41, 43	1 385	1 523
2 (extruded)	22.5	1 209	20.6	43, 43, 44	1 461	1 660
3 (extruded)	36	1 387	14.1	47, 48, 48	1 809	1 896
4 (extruded)	48	1 495	10.4	49, 50, 50	1 952	2 018
5 (extruded)	59	1 592	8.2	50, 50, 51	2 066	2 203
6 (extruded)	85	1 736	5.6	53, 54, 55	2 218	2 359

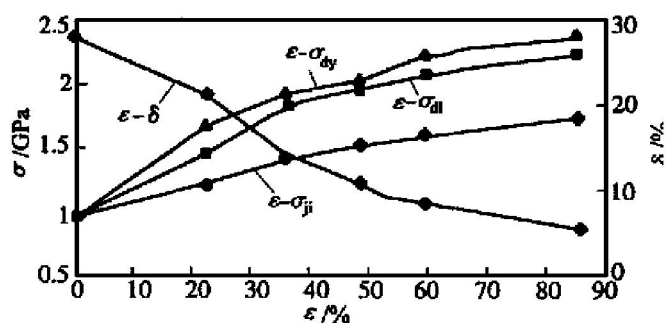


图 3 静液挤压钨合金力学性能与变形量之间的关系

Fig. 3 Relation between mechanical properties and extrusion amount

导致钨颗粒近似纤维化特征的出现,这种微观结构上的不对称性必然导致宏观性能的各向异性,即沿着钨颗粒变形方向的强度值提高,而垂直于钨颗粒变形方向的值有所下降^[8]。

3) 在相同变形量条件下,钨合金的动态抗拉强度明显高于其静态抗拉强度,这主要是由于钨合金的强度在一定范围内随应变率的增加而增大,即合金的应变率硬化效应导致了上述的结果。

4) 在同一挤压变形量条件下,钨合金的动态压缩强度明显高于动态拉伸强度。这主要是由于在拉伸载荷作用下,钨合金中较薄弱的界面即钨颗粒与钨颗粒之间的界面很容易出现微裂纹,而微裂纹一旦形成,便会降低钨合金的承载截面面积,从而降低了材料的抗拉强度。但在压缩载荷作用下,这些薄弱界面间不易形成微裂纹,因而它们对钨合金的压缩强度没有明显的影响,最终导致合金的抗压强度高于其抗拉强度。

5) 钨合金的强度并不是随变形量的增大呈线性增加,从图 3 所示的拟合曲线可以看出,随着变形量的增大,其强度提高的幅度逐渐降低,延伸率下降的幅度也逐渐降低。从硬度变化的角度来看,随着挤压变形量的增大,钨合金的硬度有明显的提高,但在同一试样中心和边缘的硬度相差很小,说

明在静液挤压过程中合金的整体变形比较均匀,即形变强化均匀。

3 结论

本文作者研究了 93W-4.9Ni-2.1Fe 的静液挤压变形强化,比较和讨论了静液挤压与普通的旋锻工艺对钨合金的变形强化效果,得到了以下结论:

- 1) 通过静液挤压工艺可以使得钨合金的一次变形量接近 90%,从而可以对钨合金进行大变形强化,最终能取得较大的变形强化效果;
- 2) 通过静液挤压工艺可以使钨合金获得纤维化的微观组织,从而大大提高了合金的强度;
- 3) 在相同变形量条件下,静液挤压钨合金的性能均匀,硬度均匀性好,变形强化效果明显好于普通的旋锻工艺。

[REFERENCES]

- [1] FAN Jir-lian (范景莲), QU Xuan-hui (曲选辉), HUANG Bai-yun (黄伯云). 注射成形高比重合金的性能与显微组织[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals (中国有色金属学报), 1998, 8(4): 590 - 594.
- [2] WANG Huan-yu (王换玉), CAI Huang-nian (才鸿年), QIAN Xue-mei (钱学梅). 钨合金液力挤压强化技术研究[J]. Advanced Materials and Manufacture Technology (先进材料与制造技术), 1998(5): 1- 5.
- [3] Ludynski L. A study of hydrostatic extrusion of heavy alloys [J]. International Journal of Materials Technology, 1997(Special Issue): 339- 345.
- [4] German R M, Bourguignon L, Rabin B H. Microstructure limitation of high tungsten content heavy alloys [J]. Journal of Metals, 1985(8): 36- 39.
- [5] ZHANG Zhao-hui (张朝晖), WANG Fu-chi (王富耻).

- 钨合金静液挤压过程应力、应变场数值模拟研究 [J]. Journal of Beijing Institute of Technology (北京理工大学学报), 2000(4): 435– 440.
- [6] Elkhoh A H. Parametric analysis of hydrostatic extrusion [J]. European Journal of Mechanical Engineering, 1998, (5): 61– 65.
- [7] Elkhoh H. Parametric optimization of power in hydrostatic extrusion [J]. International Journal of Materials Technology, 1997, 12(4): 379– 388.
- [8] ZHANG Zhao-hui(张朝晖). 钨合金静液挤压过程和断裂特征的理论及实验研究[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2000. 82– 98.
- [9] Churm K S, German R M. Fracture behavior of W-Ni-Fe heavy alloys [J]. Metallurgical Transactions, 1984, (15A): 331.
- [10] Bentley A R, Hogwood M C, Power M. Microstructure aspects of highly deformed tungsten heavy alloys [J]. International Conference on Tungsten and Refractory Metals, 1994: 145– 149.

Microstructure and properties of tungsten alloy deformed by hydrostatic extrusion

ZHANG Zhao-hui, WANG Fu-chi, LI Shu-kui

(Department of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology,
Beijing 100081, P. R. China)

[Abstract] W-Ni-Fe alloy with higher content of tungsten has a series of good properties, such as high density, high strength and good ductility. It's applicable to be used as penetrators, armor-piercing bullets, and radiation shields. The hydrostatic extrusion technology has a potential advantage in the deformation strengthening to the metals with higher brittleness. The properties and the microstructure of the 93W-Ni-Fe are studied. Compared with the traditional swaging technology, the distribution of the hardness and the microstructure are uniform, the properties of this kind of alloy deformed by hydrostatic extrusion are higher.

[Key words] hydrostatic extrusion; tungsten alloy; deformation strengthening; mechanical properties; microstructure

(编辑 何学锋)