

高钨镢块材料的组织与性能^①

梁容海 汤金芝 刘红卫

(中南工业大学粉末冶金国家重点实验室, 长沙 410083)

摘 要 电镢发动机气门用镢块材料要求具有高的的高温硬度, 同时保持一定的韧性和可加工性。所研制的 W_{252} , W_{232} 高钨合金镢块在 800 °C 时, HV 值分别为 150 和 169, 其使用寿命比 $Cu-W_{80}$ 镢块提高 20 倍以上。用于生产排气门时, 其成品率由 57.8% 提高到 98.2% 以上。

关键词 气门 高温硬度 高钨镢块 电热镢粗

中图法分类号 TF125.2, TG146.4

发动机气门材料的生产, 目前较广泛地采用镢模锻工艺, 即对被镢粗工件直接通电, 使其局部发热至 1150 °C 左右, 再在镢粗压力作用下被局部镢粗。然后, 将被镢粗的部分直接进行热模锻成型。显然, 作为镢粗用的镢块将承受着高温和高压力的持续作用, 其工作条件不仅要求镢块材料具有良好的导电、导热等物理性能, 还应具有较高的高温强度、硬度和抗氧化性能。同时, 由于镢粗过程是一个断续的周期性作业, 故镢块材料还将承受着热疲劳应力的反复作用。汽车等运输工具的速度越来越高, 发动机的燃气温度也越来越高, 致使气门材料处在更恶劣的条件下工作, 这就要求气门材料具有更高的耐高温、耐磨性能。目前, 发动机进气门材料一般用 40Cr 钢, 排气门则用 21-4N, 4Cr9Si2Mo 等高强度耐热钢。随着发动机技术的进步, 要求采用更高高温性能的耐热合金钢制备发动机气门阀门, 由此必须研究出一种与其相适应的具有更高高温硬度的镢块材料, 促进我国汽车、内燃机车制造工业的迅速发展。

1 镢块材质研究方案探讨

镢块材料的质量直接影响发动机气门的生

产质量。70 年代起我国就沿用 $Cu-W_{80}$ 合金作为镢块材料, 这种材料是以钨为基的铜-钨合金, 具有良好的导电、导热性能^[1]; 由于钨的含量达 80%, 还有较好的高温性能, 与 50~60 年代使用的 3Cr2W8V 工具钢镢块相比, 生产效率与使用寿命均提高约 3 倍。但 $Cu-W_{80}$ 合金中 W 不溶于 Cu 中, 是一种假合金^[2], 硬度低。当被其镢粗的工件达到 300~500 件时, 镢块工作面出现深达 2mm 以上的凹坑。由于凹坑的出现, 发动机气门工件的被镢面在电热镢粗过程中相应出现凸突环状, 以致热模锻时在气门大端面产生园环折叠, 如图 1 箭头所示, 严重影响气门质量。因此, 使用过程中镢块工作面经常需要车平。这样, 不仅影响生产效率, 增加工人劳动强度, 废品率升高, 且镢块的使用寿命也低。要防止凹坑环的出现, 只有提高镢块的高温硬度。在研究高性能材质的镢块时, 在合金中增添高熔点金属能满足要求。从文献[3]查出: 钨是高熔点金属中熔点最高的金属, 且导热率高, 在高温下具有较高的强度和硬度, 是理想的热加工模具材料^[4]。我国有丰富的钨资源, 为提高合金的高温硬度, 钨是理想的候选材料。故本研究方案以钨作为合金的基体相, 选用 Ni, Fe 或 Ni, Cu 作为粘结相并经正交设计方案选择最佳合金组

① 收稿日期: 1999-01-04; 修回日期: 1999-03-10 梁容海, 男, 59 岁, 副教授

分,以优化出理想的发动机气门工件锻粗用钨
锻块材料,并采用粉末冶金工艺路线制备该合
金材料。

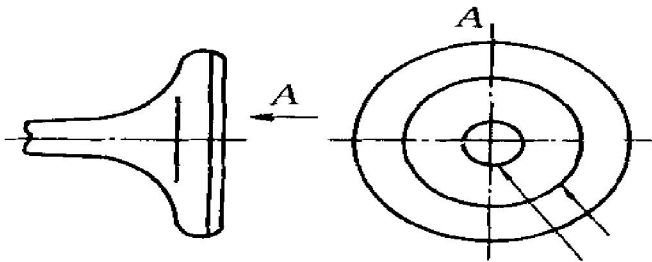


图 1 气门大端面的园环折叠

Fig. 1 Ring fold of large bottom of valve

2 实验方法

2.1 实验材料

本实验采用的原材料性能见表 1。

表 1 原材料性能

Table 1 Chemical composition and processing property of raw materials

Metal powder	Purity/ %	Powder size/ μm
Tungsten	99.8	2.5~ 3.5
Nickle	99.0	61
Iron	98.0	74
Copper	99.0	43

2.2 合金成分

经实验后选用的合金成分见表 2。

表 2 实验用合金成分

Table 2 Chemical compositions of heavy alloys(%)

Alloy No.	Ni	Fe	Cu	W
W ₁₃₂	1.5~ 2.0	—	3.0~ 4.0	Balance
W ₂₅₂	2.5~ 3.0	4.5~ 5.5	—	Balance
W ₂₃₂	1.0~ 2.0	3.0~ 4.0	—	Balance
W ₂₂₁	0.5~ 1.0	2.0~ 3.0	—	Balance

2.3 工艺路线

所采用的粉末冶金工艺路线如下:

配料、混合→掺胶→成形→预烧结→烧结
→后处理、加工→检测→成品。

(1) 配料、混合

按表 2 所设计的化学成分计算称量。将称
量的粉末倒入混料器中混合 18~ 24h 后出料。

(2) 成形

按混合料的 1% ~ 2% 称量成型剂进行掺
胶,按设计的模具尺寸成形,其成形压力为 100
~ 300 MPa。

(3) 预烧结、烧结

成形后的产品经预烧结脱胶,然后根据所
设计的组分,分别于 1380~ 1550 ℃温度范围内
进行烧结,保温 2~ 3 h 冷却出炉,再进行后处
理、加工。

3 实验结果与分析讨论

3.1 合金组分对锻块性能的影响

选择 W-NiCu 系和 W-NiFe 系 4 种最优组
分的合金,经最佳工艺制备的 4 种合金的高温
硬度与温度变化的关系列于表 3。

表 3 合金硬度与温度变化关系

Table 3 Relationship between hardness and temperatures of heavy alloys

Alloy No.	Hardness		
	HB(Room-temperature)	HV (500 ℃)	HV (800 ℃)
W ₁₃₂	250~ 300	140	95
W ₂₅₂	260~ 320	185	150
W ₂₃₂	280~ 340	196	169
W ₂₂₁	300~ 360	199	178

从表 3 看出: 3 种 W-NiFe 系合金的硬度随
着钨含量的增加而提高。不论是室温硬度值,还
是高温硬度值,均相应提高。随着温度的提高,
合金的 HV 值却显著降低。从 W-NiCu 系合金
与 W-NiFe 系合金比较可知, W-NiFe 系合金的
性能明显高于 W-NiCu 系合金,如以 W₁₃₂ 与
W₂₃₂ 比较,在 500 ℃时, W₂₃₂ 的硬度比 W₁₃₂ 的高
得多,在 800 ℃则 W₂₃₂ 的高温硬度更高。这是因
为 W 在 NiFe 中的溶解度高于在 NiCu 中的溶
解度,尽管 W 在 NiCu 及 NiFe 中均有一定的
溶解度,但 W 却难溶于 Cu 中, W 与 Cu 只能形
成假合金,在 NiCu 固溶体中 Cu 降低了 W 在

Ni 中的溶解度。对于 Ni-Fe 固溶体而言, Ni 及 Fe 对 W 均有一定的溶解度, 所以 W-Ni-Fe 系固溶强化效果明显高于 W-Ni-Cu 系的固溶强化效果。而且对于相应组分质量相同的 W-Ni-Fe, W-Ni-Cu 合金而言, W-Ni-Fe 合金烧结温度高出 100 °C 以上, 随着温度的提高, W 在 Ni 中的溶解度提高, 所形成的 W-Ni-Fe 固溶强化效果比 W-Ni-Cu 好, 所以, W-Ni-Fe 系合金的强度、硬度高于 W-Ni-Cu 系合金^[5-8]。

同时从 W-Ni-Cu 与 W-Ni-Fe 的断口形貌(图 2)可以看出, W-Ni-Cu 系合金及 W-Ni-Fe 系合金的固溶体均匀分布在基体钨晶粒周围。粘结相呈韧性断裂, 属典型的蜂窝状结构; W-Ni-Fe 系合金断口形貌中(图 2(a)) 有较多的钨晶粒为穿晶断裂, 呈扇形撕裂状。而 W-Ni-Cu 系合金的断口的钨晶粒穿晶断裂少得多(图 2

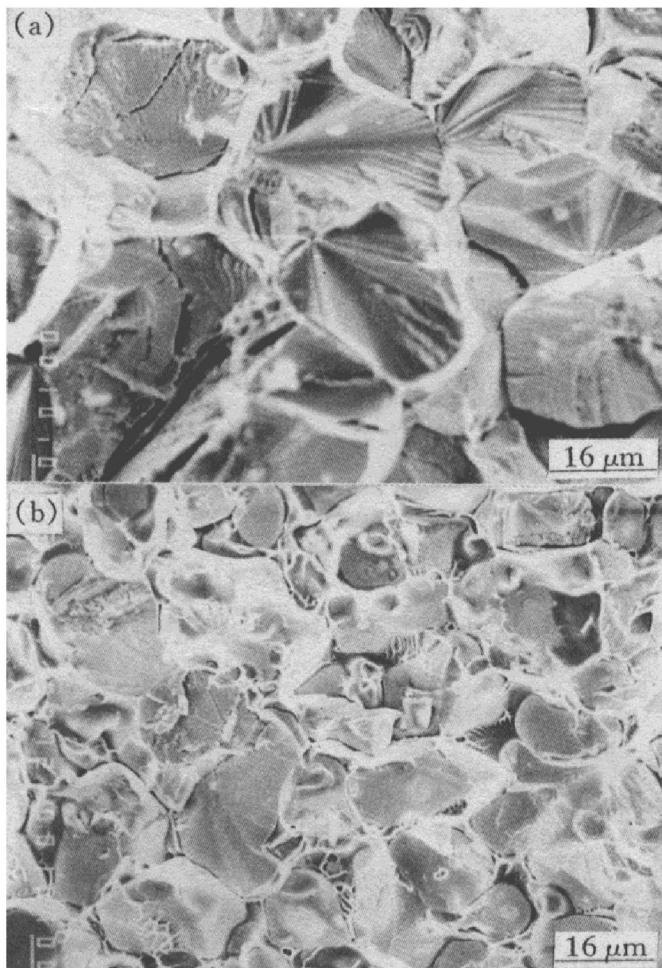


图 2 钨合金断口形貌

Fig. 2 SEM fractographs of W alloys

(a) —W₂₃₂; (b) —W₁₃₂

(b)), 从文献[9]可知拉拔 W 丝的拉伸强度超过 2.81 GPa, 说明 W 晶粒穿晶断裂强度很高。如 W 基合金体系发生 W 晶粒穿晶断裂, 该合金将具有高的力学性能。

3.2 影响钨合金钹块寿命机理探讨

将研制的钨合金钹块送至国内几个主要气门生产厂家进行试验, Cu-W₈₀ 钹块由于高温硬度低, 钹粗气门工件不到 400 件即在钹块面上出现较深的凹坑(图 3(a)); 而 W₂₂₁ 钨合金由于钨含量高达 97%, 尽管其高温硬度值较高, 但由于高的钨含量导致合金的脆性增加, 韧性降低, 当电钹块钹粗至一定厚度时便出现钹裂或表面龟裂的现象(图 3(b))。由于钹块 W₂₃₂ 中的粘结相含量比 W₂₂₁ 高, 因此合金的韧性高于 W₂₂₁ 钹块, 图 3(c) 显示 W₂₃₂ 钹块在生产了 1500 件气门后, 在钹面出现的小圆环凹坑, 它仍不影响热模钹后气门大端面的质量。该种合金在电钹 21-4N 等耐高温、耐磨蚀的工具钢时, 具有更高的使用寿命。从上述可见, 要使钹块合金具有高的耐高温和较好的韧性, 必须选择适当的钨含量与粘结相, 这样才能保证钹块材料具有长的使用寿命。

3.3 钨合金钹块使用效益分析

前面讨论了钹块使用寿命与材质的关系, 现对使用效益进行分析, 首先讨论试验的基本情况。

试验用的钹机类型: 多工位的竖式电钹机, 单工位的卧式电钹机。

电钹用的气门材料: 进气门 38CrSi; 排气门 4Cr9Si2Mo, 21-4N, 10Cr9Si2Mo。

电钹粗工件尺寸规格: d 8.5~13.5 mm

电钹工艺参数: 功率 30 kVA, 二次电压 2~4 V; 工作压力 20 kN, 工作温度: 1 150 ± 20 °C

几家气门厂的钹块实际使用寿命对比数据列于表 4。

从表 4 可看出: W₂₃₂ 钹块使用效果最理想, 如上节所述, W₂₃₂ 钹块不但具有高的耐高温硬度, 同时还具有好的韧性, 是一种理想的钹块材料。

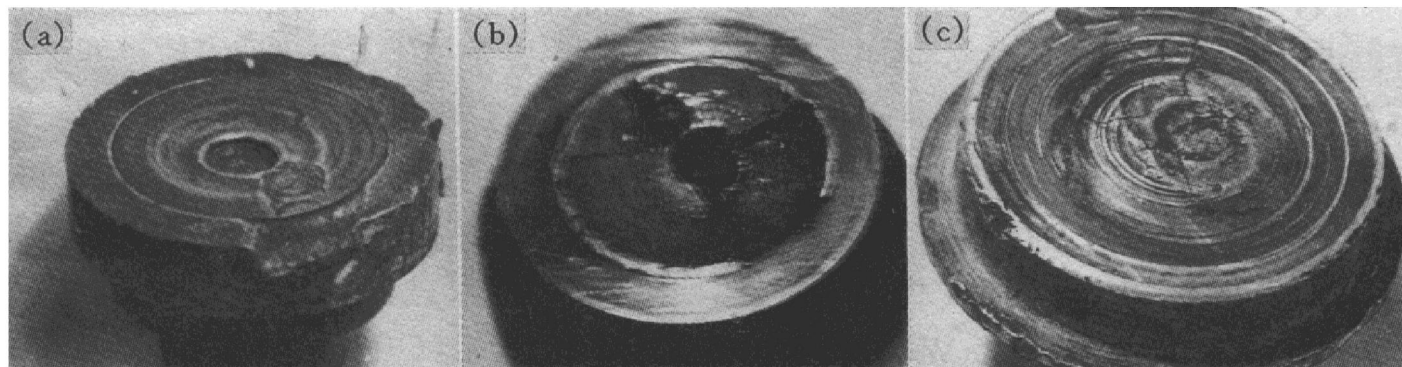


图3 不同材质的镗块使用损坏后的情况

Fig. 3 Photographs of die blocks with different materials after used

(a) —CrW₈₀; (b) —W₂₂₁; (c) —W₂₃₂

表4 镗块材料的使用寿命对比

Table 4 Comparison of service lives of different die materials

Alloy No.	Machine model	Service life	Relative service life	Ratio of waste products
3Cr2W8V	Multi position(erecting)	200~ 300	0.6	50.00~ 60.00
CrW ₈₀	Multi position(erecting)	300~ 500	1.0	30.00~ 40.00
W ₁₃₂	Single position(laying)	1 200~ 1 600	3.0~ 4.0	20.00~ 30.00
W ₂₅₂	Single position(laying)	1 500~ 1 700	20.0~ 23.0	18.00
W ₂₃₂	Single position(laying)	10 000~ 19 000	30.0	1.80

Relative service life is calculated by referencing CrW₈₀ alloy

从几个工厂试用的情况来看, 钨合金镗块材料比 CrW₈₀ 合金镗块使用寿命得到明显提高, 并取得了较好的经济效益。

由上述试验可以看出:

(1) 钨合金镗块的使用寿命比 CrW₈₀ 的提高 10~ 30 倍。

(2) 气门成本费用大大降低

某厂按生产 100 000 件气门统计, 与使用 CrW₈₀ 合金相比, 仅镗块材料费就节约 80% 以上。

生产的气门质量提高, 成品率由过去的 57.8% 提高至 98.2%, 使成本大大降低。

由于成品率提高, 气门的大端面不需加工, 节约了气门钢材。

(3) 提高了生产效率, 改善了劳动条件。因钨合金镗块的高温硬度提高, 2~ 3 个班才车削一次, 而 CrW₈₀ 每班要车削 3 次以上, 通过减少车削次数与换镗块的时间而改善了劳动条件, 提高了生产率。

此外, 钨合金镗块与基座联结工艺也是提

高镗块使用寿命的重要因素之一^[10]。

4 结论

(1) 研制的高钨合金 W₂₅₂, W₂₃₂ 镗块, Ni, Fe 含量在 5%~ 7%, 保证了镗块的高温硬度及良好的韧性, 在 800 °C 下, HV 值分别为 150 和 169, 是一种理想的电镗发动机气门用的镗块材料。

(2) 高钨合金镗块的使用寿命是 CrW₈₀ 合金的 20 倍以上, 气门废品率减少约 40%, 成本降低 30% 以上, 同时改善了劳动条件, 提高了生产率。

REFERENCES

- 1 Zhao Muyue(赵慕岳), Wang Fusheng(王伏生) and Liang Ronghai(梁容海). Mechanical Engineering Materials(机械工程材料), 1978, (3): 1- 8.
- 2 Wang Fusheng, Zhou Zaiming and Liang Ronghai. Trans

- Nonferrous Met Soc China, 1993, 3(3): 36–41.
- 3 Zilimfrman A H. Rare Metal Metallurgy. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1959: 13, 49.
- 4 Peng Shaofang. Wolfram Metallurgy. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1981: 2.
- 5 Wang Fusheng(王伏生), Liang Ronghai(梁容海) and Zhou Zaiming(周载明). Journal of Central South University of Technology(中南工业大学学报), 1996, 27(6): 700.
- 6 Wang Fusheng(王伏生) and Zhao Muyue(赵慕岳) Powder Metallurgy Materials Science and Engineering(粉末冶金材料科学与工程), 1997, 2(2): 114.
- 7 Wang Fusheng(王伏生), Liang Ronghai(梁容海) and Zhou Zaiming(周载明). Journal of Central South Institute of Mining and Metallurgy(中南矿冶学院学报), 1994, 25(4): 494.
- 8 Wang Fusheng(王伏生), Liang Ronghai(梁容海) and Zhou Zaiming(周载明). The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1992, 2(Suppl. 5): 92.
- 9 Eugene G *et al.* Journal of the Less Common Metals, 1993, (32): 345.
- 10 Liang Ronghai(梁容海) and Xiong Xiangjun(熊湘君). Rare Metal and Cemented Carbides(稀有金属与硬质合金), 1998, (3): 4.

HIGH TUNGSTEN ELECTRICAL UPSETTING DIE BLOCKS MATERIAL

Liang Ronghai, Tang Jinzhi and Liu Hongwei

State Key Laboratory for Powder Metallurgy,

Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China

ABSTRACT Upsetting die blocks materials used for fabricating engine valve should possess excellent red hardness, and certain toughness and good processing ability. The service life of upsetting die block made of W₂₅₂ or W₂₃₂ high tungsten alloy studied is over 20 times more than that made from Cu-W₈₀ alloy by long-run confirmation tests. Especially in fabrication of exhaust valve, the finished product ratio has increased to 98.2% from previous 57.8%.

Key words valve red hardness high tungsten upsetting die blocks material electric upsetting

(编辑 黄劲松)