维普资讯 http://www.cqvip.com

高比重 W－Ni－Fe 合金的变形强化

刘铭成

Deformation Strengthening of High Density W－Ni－Fe Alloys

Liu Mingcheng

摘 要 在三种钨含量的 W－Ni－Fe 合金变形强化过程中，研究了变形量和力学性能与显微组织之间的关系。试验结果表明，随着钨合金变形量的增加，变形合金的强度和硬度亦增加，当变形量超过 15%后，高钨含量合金的变形强化作用逐渐减小。在变形合金的显微组织中，钨颗粒沿棒料轴向明显拉长，同时解理断裂成为断口的主要形式，并显现出钨合金断面上的滑移带。本文还讨论了变形合金在真空下，最佳调质退火温度和两相钨合金的形变特点、变形机制等。

关键词 高比重钨合金 变形强化 力学性能 变形机制 显微组织

ABSTRACT The correlation among the degree of reduction, mechanical properties and microstructure of three W－Ni－Fe alloys with different W contents has been investigated in deformation strengthening process.

The experimental results showed that the strength and hardness of the deformed alloys increased with the degree of deformation. Moreover, the deformation strengthening effect of the higher W content decreased as the deformation was higher than 15 %, and the W grains were elongated along the longitudinal direction in the deformed alloys. The cleavage failur across W grains became the main mode of fracture and the slip bands emerged on the fracture face.

The optimal temperature of vacuum annealing of deformed alloys, and the characteristics and mechanism of deformation of biphase W alloys have been discussed in this paper as well.

KEY WORDS high density W alloy deformation strengthening mechanical property deformation mechanism microstucture

1 引 言

在工业上，人们广泛应用的高比重钨合金中有 W－Ni－Fe 系列和 W－Ni－Cu 系列合金，前者在强度和塑性上都优于后者，由于其高密度、良好的强度与韧性的配合以及满意的机加工等性能，因此在民用和国防工业中[1~4]，其应用都占有特殊的地位，如广泛用作模具、陀螺转子、惯性元件、防射线的屏蔽部件、配重体和穿甲弹弹芯等，并发现用于穿甲弹芯具有极好的穿甲威力。从 70 年代至今，技术先进的国家对该材料的开发热点均在加速研究和生产穿甲威力远高于合金钢弹芯的钨芯穿甲弹，因而对钨芯性能也提出了更高的要求，如 σ_b＞1200MPa 并

作者单位：冶金部钢铁研究总院(Central Iron & Steel Research Institute, MMI)
作者联系人：刘铭成，高级工程师，北京(100081)，冶金部钢铁研究总院 3 室

维普资讯 http://www.cqvip.com

具有良好韧性的钨合金。

采用粉末冶金工艺制备的特殊钨合金，是由面心立方结构的粘结相固溶体包围着体心立方结构的钨颗粒硬质相组成的两相合金、该烧结态合金，若不经强化处理，其室温抗拉强度值一般在600～700 MPa，延伸率δ为2.5 %～3.6 %，属脆性材料。为提高合金的力学性能，人们曾从合金元素的强化、表面涂层和热处理以及改进和完善制作工艺制度等方面做了大量的工作[5~9]。为改善合金的强韧性，本文对W－Ni－Fe合金的变形强化过程，做了较系统的研究，也探索了真空退火温度对变形合金性能的影响[10~12]。

2 试样的制备及实验方法

试样采用粉末冶金方法制备，用细颗粒W，Ni，Fe三种元素粉末，按重量百分比计量配制，三种不同钨含量合金的Ni/Fe比值均为7∶3，经配制的元素粉末，在滚料机中混合，采用冷等静压成形，在通氢的钼丝炉中进行烧结，接着在真空炉中，高温脱氢处理，然后进行压缩加工变形，试样在变形前机加工成ϕ11×300 (mm)的试棒，其力学性能见表1。

表1 变形前钨合金的力学性能*

Table 1 Mechanical properties of W－alloys prior to deformation after vacuum dehydrogenation

合金牌号	成分 %	密度 g/cm³	σ_b MPa	δ %	ψ %
90W	90W－10(Ni,Fe)	17.16	946	26.0	33.3
93W	93W－7(Ni,Fe)	17.80	950	23.0	31.3
95W	95W－5(Ni,Fe)	18.02	951	20.6	20.5

* 真空脱氢后

用光学显微镜观察了变形及退火钨合金的显微组织，用扫描电镜观察了断口，同时测定了有关的力学性能。

3 实验结果和讨论

3.1 钨合金变形量与力学性能的关系

钨合金棒料的变形量(ε)是按棒料断面面积的压缩率计算的。三种钨合金，不同变形量与室温拉伸性能及硬度的关系示于图1。

试验结果表明：W－Ni－Fe合金的变形强化，采用压缩变形方式是成功的。从图1(a)曲线不难看出，合金在开始变形时，强化作用较明显；当变形量>15 %时，强化作用呈减小趋势。在图1(b)曲线示出的钨合金变形量与硬度的关系中，同样显示了相似的规律，即三种钨合金的硬度在开始变形时，均随合金变形量的增加而增大，当硬度值逐渐趋向一最大值时，便不再随变形量的增加而有明显变化，如含钨95 %的合金，当变形量约5 %时，硬度达最大值，这表明了强化规律的一致性。

3.2 钨合金变形强化过程中组织结构的变化

液相烧结钨合金的显微组织见图2。图中呈圆形的为钨颗粒，均匀地分布在W－Ni－Fe粘结相基体中，该合金的界面呈现出W－W颗粒粒界(A)，钨颗粒—粘结相相界(C)和粘结晶界(B)三部分(箭头所示位置)，合金经变形后，合金的界面无明显变化。当变形量ε>27 %时，

www.chinatungsten.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

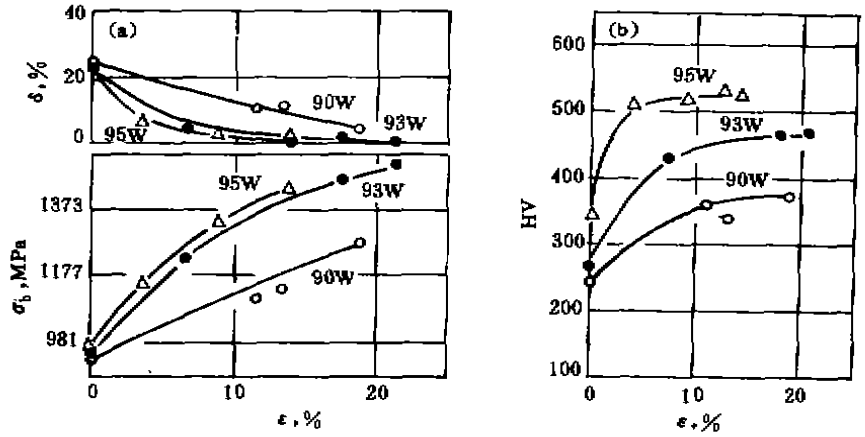

图 1 钨合金变形量与拉伸性能(a)及硬度(b)的关系

Fig. 1 Percentage of reduction vs tensile properties (a) and hardness (b) of W - alloy

从图 3 观察到钨颗粒沿棒料轴向有明显的拉长。经变形强化的合金，用图像法测得合金变形前、后钨颗粒的长、径比(L/D)值的变化情况。测量结果为：烧结态钨合金的 L/D 值为 0.9～1.1，随着变形量的增加，L/D 值亦逐渐增大，例如当 $\varepsilon>27$ %时，L/D 值增大为 1.78。同时测量了变形前、后两相合金中钨相和粘结相显微硬度的变化。从表 2 给出的结果可以看出：合金经变形强化后，粘结相的显微硬度值增长幅度不大，而钨颗粒的硬度有较大增加，硬化作用甚为明显。

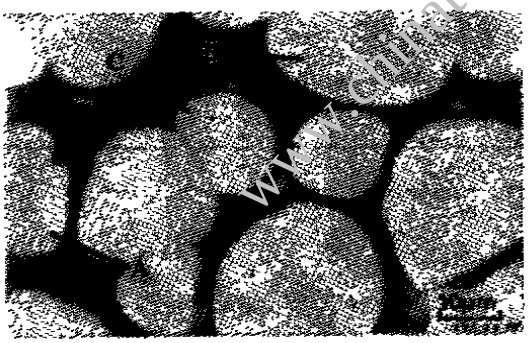

图 2 W - Ni - Fe 合金的显微组织

A——W - W 颗粒粒界；B——粘结相晶界；

C——钨颗粒－粘结相相界

Fig. 2 Microstructure of W - Ni - Fe alloy

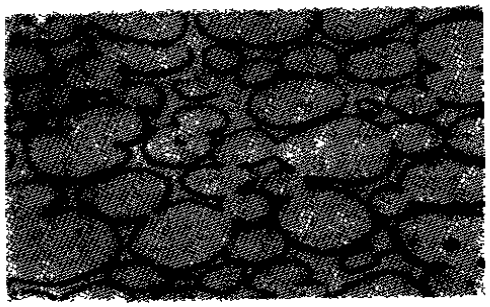

图 3 90 %W 合金经变形后($\varepsilon>27$ %)的显微组织 ×500

Fig. 3 Microstructure of deformed 90 % W - alloy($\varepsilon>27$ %) ×500

表 2 90 %W 合金变形强化后的显微硬度

Table 2 Microhardness HB of deformed 90 % W alloy, 20 g load

牌 号	ε,%	钨颗粒	基 体	牌 号	ε,%	钨颗粒	基 体
90W－D0	0	328	268	90W－D4	27.8	482	340
－D2	13.5	413	279	－D5	36.0	—	—
－D3	19.0	470	346				

维普资讯 http://www.cqvip.com

3.3 钨合金在变形强化中的变形机制

图 4 示出 90 %钨合金经变形强化后的拉伸断口的微观形态。图中呈现出的断裂方式与变形前不同，经变形强化的合金已出现明显的钨颗粒解理断裂。在高倍显微镜下观察，可以清楚地看到滑移带，它说明合金在变形时是按滑移机制进行的。根据钨合金具有两相结构的特点和它们力学性能的差异可以判断：合金当压缩变形时，若在变形方式和工艺参数选择合理的条件下，在钨合金中，首先是粘结相变形，随着变形量的逐渐增加，粘结相和钨颗粒同时发生滑移变形。

图 4 变形后 90 %钨合金的断口金相

Fig. 4 Fractograph of deformed 90 % W alloy

3.4 变形强化合金的调质处理

钨合金变形强化后，为取得优异的综合力学性能，试样分别在 800 ℃，1000 ℃和 1200 ℃温度下进行真空调质处理，试验结果列于表 3 中。

表 3 90 W－10 Ni－Fe 高比重钨合金在不同状态下的拉伸性能

Table 3 Tensile properties of high density W－alloy (90 W－10 Ni－Fe) under different conditions

工艺条件	σ_b, MPa	$\sigma_{0.2}$, MPa	δ, %	ψ, %
1200 ℃×1h 真空下脱氢	940	795	26	35
变形强化态	1205	1165	7	17
变形后经 800 ℃×1h 真空下退火	1130	980	10	28
变形后经 1000 ℃×1h 真空下退火	1050	835	23	35
变形后经 1200 ℃×1h 真空下退火	1030	795	25	35

表 3 给出的结果表明：合金经过压缩变形后，抗拉强度 σ_b 和屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 都有大幅度提高，而延伸率和断面收缩率则明显下降。变形合金再经过不同温度退火处理，合金的抗拉强度和屈服强度下降，延伸率回升，而且退火温度越高，这种变化越大。当退火温度达到 1200 ℃时，σ_b 和 $\sigma_{0.2}$ 已接近合金脱氢状态的数值，δ 和 ψ 数值恢复到变形强化前的水平，这表明合金已经回复和再结晶。从拉伸性能数值观察，经 1200 ℃退火处理，尚未出现晶粒长大的现象，因此为了得到综合性能最佳的钨合金，可根据需要在 800～1100 ℃范围内选择退火温度，但超过 1200 ℃合金将会出现不希望的再结晶现象，使合金软化。

www.chinatungsten.com

维普资讯 http://www.cqvip.com

4 结 论

(1)W-Ni-Fe 高比重的钨合金,经压缩变形加工能明显提高抗拉强度 σ_b 和屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 同时降低延伸率 δ 和断面收缩率 ψ,是强化高比重钨合金的有效方法。

(2)在钨合金的变形强化过程中,随着合金中钨含量的增加和合金压缩变形量的增加,合金强化率亦随之增加,当变形量 $\epsilon>15$ %时,强化作用逐渐减小。

(3)在钨合金变形强化过程中,首先是粘结相变形,随着变形量的增加,粘结相和钨颗粒同时发生滑移变形,合金的变形强化过程受钨颗粒相的加工硬化所控制。

(4)经变形强化的钨合金,在 800 ℃~1100 ℃范围内选择退火调质温度,可得到综合性能优异的合金。

(1994 年 1 月收到修改稿)

参 考 文 献

[1] Melennan J C *et al*. J. Sci. Inst., 1935,(12):156
[2] Zukas E G. AEC LA-5962 MS. 1975
[3] Dickison J M. Modern Development in powder Metallurgy, 1974,8:329
[4] Ekbom C J. Metallurgy(Scandinavian), 1976,5(4):179
[5] Watts T D. Y-1675,1969
[6] Jones D J. Powder Metall., 1967,10(20):156
[7] Znkas E G. LA-5962,1975
[8] Northeutt W G., Y/DA-7117,1977
[9] アル、アイバン、ラーセン,特许公报,昭 53-41087
[10] Krock R H *et al*. Trans. Met. Soc. AIME, 1963, 227(5):1127
[11] 朱桂森,刘铭成等. 金属学报, 1981, 17(1):39
[12] Northeutt W G. Y/DA-866, 1976.

www.chinatungsten.com

·技术推广·

热水装置的外加电流阴极保护技术

Cathodic Protection by External Current for Hot-Water Equipment

铝阴极外加电流阴极保护技术,是专门用来保护热水装置如锅炉、热交换器、贮水罐、煮水器、热水循环系统等内壁免遭腐蚀的特殊技术。利用阴极保护的基本原理,使用专门的铝阴极,其电解的二次产物还可以保护整个热水系统管网,并改善结垢状态,从而延长锅炉寿命,节能降耗。与缓冲剂等其他水处理保护技术相比,该技术具有投资少、无污染、监控方便且成本低等优点,可广泛应用于冶金、电力等行业中的热能动力设备及管网的内壁防腐。该技术总投资约 10~20 万元(视保护系统的大小而定),采用该技术经济效益十分明显,可减轻锅炉等热水装置的内壁腐蚀,延长寿命 3 年以上,可减轻锅炉管结构及腐蚀,提高寿命 3 倍。此外,还可节约燃煤或其他能耗 10%~20%。

转让方式:面议。**有意者可与本刊编辑部联系。**