

## 26-39 工艺因素对W-Ni-Cu合金机械性能的影响

惠 军 周世铎

摘 要

TF125.2

本文介绍了合金成分、混料方法、烧结温度、保护气氛、冷却速度及真空热处理对W-Ni-Cu高比重合金机械性能的影响。试验结果表明,对于含95%W的W-Ni-Cu合金,Ni/Cu比为7:3最为适宜。真空热处理不能改善合金的性能,而氩气处理则有利于合金性能的提高。

关键词: 高比重合金 W-Ni-Cu合金 热处理 钨镍铜合金

### Influence of The Process Factors on The Mechanical Properties of W-Ni-Cu Alloy

Hui Jun etc

## Abstract

The influence of the composition, mixing method, Sintering temperature, protective atmosphere, cooling speed and vacuum heat treatment on the mechanical properties of W-Ni-Cu heavy alloy is studied. The results show that the best favorable ratio of Ni/Cu for W-Ni-Cu alloy containing 95 wt% W is 7:3. the vacuum treatment can not improve the properties of the alloy, while the Ar treatment is advantageous to the properties of the alloy.

Key words, heavy alloy W-Ni-Cu alloy heat treatment .

## 1、前 言

钨基高比重合金分W-Ni-Fe和W-Ni-Cu合金两大类,通常W-Ni-Fe合金的机械性能比W-Ni-Cu要好一些,应用范围较广,但W-Ni-Cu合金无磁性,在要求材料无磁性的场合成了不可替代的材料,如在陀螺仪、航空仪表和医用直流加速器中获得应用。两种高比重钨合金都采用粉末冶金液相烧结工艺制备,由于两者的液相成分不同,因而影响合金性能的因素也不同。为了能获得W-Ni-Cu合金最佳机械性能,

本试验以比重约18g/cm<sup>3</sup>,含95wt% W的W-Ni-Cu为对象,着重研究工艺因素对合金机械性能的影响,这些因素包括Ni/Cu比、混合方式、烧结温度、冷却方式、烧结气氛和真空处理,研究的目的在于获得最好的工艺参数,以改进W-Ni-Cu合金的性能。

## 2、试验方法

### 2.1 原料与试样制备

研究的W-Ni-Cu合金,含95wt%W,所用的原料是高纯W粉,费氏平均粒径为

3 $\mu\text{m}$ ; 还原Ni粉, 粒度1.5 $\mu\text{m}$ ; 电解Cu粉, 粒度9 $\mu\text{m}$ ; 化学纯氯化镍( $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )和氯化铜( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )。粉末的混合方法有2种: 机械混合法和包复合金法。机械混合法是按名义成份, 将各种金属粉末置于玛瑙钵中研磨混匀。包复合金法是向一定量的W粉中加入所需量的氯化镍溶液, 拌匀、烘干,  $\text{H}_2$ 还原, 制成Ni包W粉末, 然后用同样的方法包Cu, 制得W—Ni—Cu包复合金粉末。

配制的合金粉末成份有2种, 详见表1。拉伸试样是用钢模压制而成, 试样形状符合美国ASTM钨基高密度金属标准中粉末拉伸试样的要求, 压制压力约400MPa, 压坯经烧结和处理后不再进行机加工, 直接进行拉伸试验。试样烧结在卧式钼丝炉中进行, 保护气体为 $\text{H}_2$ , 烧结时按统一的制度进行升温, 最终烧结温度是1440 $^\circ\text{C}$ , 1460 $^\circ\text{C}$ , 1480 $^\circ\text{C}$ , 保温1h。

表1 W—Ni—Cu合金成份、混合方法和烧结处理

编号	合金成份(wt%)			Ni:Cu	混合方法	处理制度 1400 $^\circ\text{C}$ /1h, 1460 $^\circ\text{C}$ /1h, 1480 $^\circ\text{C}$ /1h
	W	Ni	Cu			
1	95	3.5	1.5	7:3	机械混合	快冷、慢冷、Ar气保护处理、真空处理
2	95	2.5	2.5	1:1	机械混合	快冷
3	95	3.5	1.5	7:3	固液混合	快冷

### 2.2 试样热处理条件

试样烧结后的处理条件分为快冷、慢冷及氩气保护处理、真空处理。

**快冷** 烧结过程结束后, 将试样直接移入带有冷却水套的冷却室内。

**慢冷** 烧结过程结束后, 停电, 随炉降温至1300 $^\circ\text{C}$ , 再将试样移入冷却室。

**氩气保护处理** 试样升温烧结至最终烧结温度时, 保护气体由 $\text{H}_2$ 气体改为Ar气, 直至烧结完毕, 移入冷却室快冷。炉内气氛实际上是 $\text{H}_2$ 、Ar气混合气体, Ar气浓度随时间延长而增加。

**真空处理** 将烧结后快冷试样, 在真空碳管炉中进行热处理, 真空度1.3Pa左右, 快速升温至所要求的温度, 保温1h, 停电随炉冷却, 冷却速度较慢。

全部试样作拉伸试验, 所得机械性能值取3个试样的平均值。

## 3、结果和讨论

本试验主要是针对含95wt% W的W—Ni—Cu合金, 考察Ni/Cu比、混合方法、烧

结气氛、冷却速度和真空处理诸因素对合金机械性能的影响。

### 3.1 合金成份的影响

目的在考察不同Ni/Cu比对合金机械性能影响, 试样为95W—2.5Ni—2.5Cu (Ni/Cu = 1:1)和95W—3.5Ni—1.5Cu (Ni/Cu = 7:3)两种合金, 烧结条件都是快冷, 但其拉伸性能有明显差别, 见图1中a, b曲线, 由图中可以看出, Ni/Cu = 7:3和Ni/Cu = 1:1的试样相比, 前者的极限强度 $\sigma_b$ 高出约200—250MPa、延伸率 $\delta$ 高出4.2%—6.6%, 有文献报道, 含90wt% W的W—Ni—Cu合金, Ni/Cu比控制在1:1—4:1范围内变化, 对合金机械性能影响不大。本试验中, 95wt% W的合金, Ni/Cu比在1:1时机械性能变坏了。

在W—Ni—Cu合金中Cu的加入, 可以降低W在Ni中的溶解度, 当Ni/Cu = 2:1, 1420 $^\circ\text{C}$ 烧结时, W在Ni中的溶解度可降到17%。W与Cu互不溶解, 熔融的Cu起到湿润W的作用, Ni起到烧结活化的作用。在95wt% W合金中, Ni/Cu = 1:1时, 虽然足量

的Cu可以降低W在Ni中的溶解度,减少脆性相的生成,但由于Ni加入量的减少及采用机械混合,合金成份混合的均匀度受到限制,最终造成在烧结过程中的Ni的活化作用减弱,导致试样的机械性能大幅度降低。

### 3.2 混合方法的影响

试样成份均为95W3.5Ni1.5Cu,混合方法采用机械混合和包复合金2种。在烧结条件、冷却方式都相同的情况下,2种试样的拉伸性能是不一样的,见图1中a、c曲线。

包复合金由于成份均匀,Ni的活性增大,在较低的烧结温度下就获得粘结相分布均匀、W晶粒细小的组织。W在Ni中溶解度低,生成脆性相机会少,这对改善合金的拉伸性能是十分有利的。包复合金试样1440℃烧结时,呈现出比机械混合试样更好的拉伸性能。当烧结温度在1460℃时,对包复合金试样来说,温度偏高,晶粒长大,上述优点开始丧失,以致拉伸性能下降至机械混合法水平。当烧结温度在1480℃时,包复合金试样则过烧了,然而在可以承受的烧结温度范围内,看来机械混合法试样烧结温度的宽容度比包复合金法要大一些。

### 3.3 冷却速度的影响

成份同是95W3.5Ni1.5Cu,在烧结条件完全相同的情况下,只是冷却速度不同,合金的机械性能即出现明显的差异,见图1中a、d曲线。慢冷试样的机械性能很差,几乎呈脆性,而且随着烧结温度增高性能变得越糟,这一试验结果与文献所报道的符合。W-Ni-Cu合金在慢冷条件下,粘结相中产生WNi<sub>4</sub>脆性相,导致了合金拉伸性能变坏。

### 3.4 烧结气氛的影响

95W3.5Ni1.5Cu合金,经Ar气处理后,试样的机械性能比在H<sub>2</sub>中烧结的其它各组试样提高很多,这是本试验中性能最好的一组试样,其断裂强度达890MPa,延伸率为

13.7%,已经接近常规的W-Ni-Fe(95wt%W)系合金的机械性能水平(见图1)。Ar处理时,烧结温度对强度的影响不明显,合金烧结温度的宽容度较大。烧结温度对合金的延伸率影响较大,且随烧结温度的升高而增加,增幅较大。W-Ni-Cu合金Ar气处理的效果与W-Ni-Fe-Mo合金用同样方法处理后的效果是一致的,W-Ni-Cu试样中的H<sub>2</sub>是有害的,Ar气处理后降低了试样中含H量。烧结温度越高,溶解的试样中的H的扩散系数越大,越有利于H的逸出,致使随烧结温度升高而性能提高。

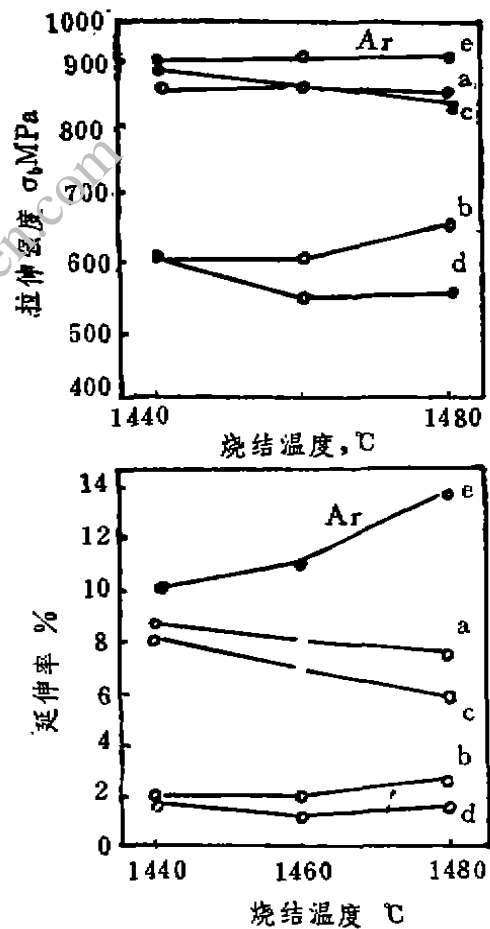


图1 各种因素对合金机械性能的影响  
a 1°样快冷, b 2°样快冷, c 3°样快冷  
d 1°样慢冷, e 1°样Ar气保护处理

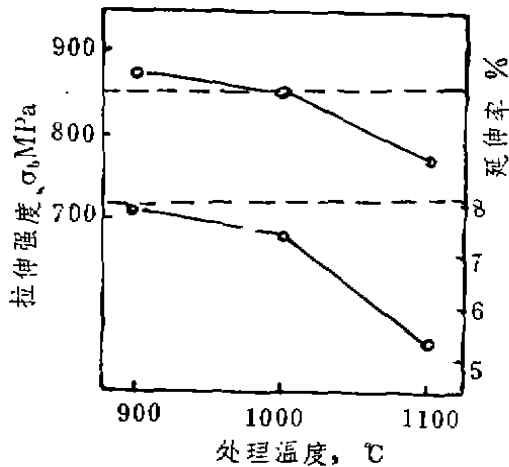


图2 真空处理对1\*样合金机械性能的影响

### 3.5 真空处理的影响

真空处理是改善W—Ni—Fe系合金机械性能的一种常用方法,对W—Ni—Cu合金来说,试验结果并非完全如此,处理后的结果见图2(图中虚线为处理前数据)。试验用合金是95W3.5Ni1.5Cu,经1460℃烧结、快冷、拉伸性能值 $\sigma_b$ 为850MPa, $\delta$ 为8%。经900℃真空处理后, $\sigma_b$ 稍有增加, $\delta$ 稍下降,基本维持处理前水平,但随处理温度升

高机械性能急速下降。总的来说,真空处理恶化了合金的机械性能。

作者认为:造成真空处理后性能改变的原因主要是真空脱H和慢冷过程2种因素综合影响的结果,对真空脱H来说,适当提高处理温度,有利于合金性能的改善,而同时在慢冷过程中温度越高生成脆性相的可能性就越大,合金的性能就越差。在本试验中,真空处理时慢冷成了影响合金性能的主导因素,导致了处理后使合金性能变坏的最终结果,如果试样在真空处理后能具有快冷或水淬的条件,有可能会改善合金的机械性能。

## 4、结 论

- 1.对于W—Ni—Cu系(含95wt%)合金,Ni/Cu=7:3具有较好的机械性能。
- 2.Ar气处理后试样的机械性能优于其它各种处理方法,是一种改善W—Ni—Cu合金机械性能的有效且经济的方法。
- 3.W—Ni—Cu合金不适宜用真空处理方法进行热处理。