

Nb521 铌钨合金组织性能及其应用研究

张春基 胡国林

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 对我国新研制的 Nb521 铌钨合金的室温及高温性能进行了研究,并对相应的微观组织进行了分析,并结合其在液体火箭发动机推力室身部的应用情况。结果表明:该铌钨合金具有优异的工艺性能及高温性能,可满足发动机对材料性能的使用要求。

关键词 Nb521 铌钨合金,组织性能,应用

Structure, Properties and Applaction of Nb521 Alloys

Zhang Chunji Hu Guolin

(Aerospace Research Institue of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract A new kind of Nb521 alloys was studied, which include the changes of microstructrue and properties at room and high temperture. And the application had been analysed in liquid rocket engine. Result show that Nb521 alloys have good processing and high temperture properties,which can meet the requisement of liquid rocket engine.

Key words Nb521 alloys, Microstructrue and properties, Application

0 引言

我国研制的 Nb521 铌钨合金(Nb-5W-2Mo-1Zr)与原苏联 5BMV 合金相似。5BMV 合金在前苏联应用于二元液体火箭发动机推力室身部的制造,在硅化钼高温抗氧化涂层的保护下推力室的工作温度可达到 1 550℃左右,大幅度减少了用于冷却燃烧室的推进剂流量,有利于提高发动机的性能。

随着型号研制的需用,Nb521 铌钨合金在我国航天领域的使用更加广阔,不但二元液体火箭发动机上使用,其他高速飞行器某些高温部件也开始使用。本文针对该合金的室温、高温性能及组织变化进行研究,并通过旋压的方法试制发动机用喷管延伸段,对该材料的高温性能及室温成形性等工艺性能进行研究。

1 实验

1.1 材料

Nb521 铌钨合金板材、棒材,为再结晶状态,成分见表 1。

表 1 Nb521 铌钨合金化学成分

Tab.1 Composition of Nb521 alloy wt%

W	Mo	Zr	C	N	O
5.14	1.87	1.33	0.0095	0.0060	0.010
Cu	Ti	Fe	Si	Ta	Nb
0.001	0.016	0.001	0.0028	0.59	余量

1.2 实验方法及分析

将再结晶态的 Nb521 铌钨合金板材、棒材加工成

室温和高温拉伸试样,分别在室温和高温拉伸试验机上进行拉伸试验,以测定 Nb521 铌钨合金室温力学性能。通过 X 射线衍射的方式对 Nb521 铌钨合金中的碳化物强化相进行标定。将 Nb521 铌钨合金加工成小试条($\Phi 3\text{ mm}\times 100\text{ mm}$),然后在小试条表面渗制高温抗氧化涂层,用通电加热的方法,分别在 1 450、1 500、1 550、1 600、1 700 及 1 800℃长时间保温,用扫描电镜观测分析高温长时间保温时强化相的变化,并通过透射电镜对析出的强化相进行标定。高温拉伸试样表面制备抗氧化涂层后测定其高温拉伸性能。

2 结果及分析

2.1 室温力学性能及组织

2.1.1 室温力学性能

表 2 为 Nb521 铌钨合金板材、棒材的室温力学性能。由表 2 可知,该材料室温时具有良好的塑性,适于通过旋压等塑性加工的方法成形零件。

表 2 Nb521 铌钨合金板材、棒材力学性能

Tab.2 Mechanical properties of Nb521 alloy sheet and bar

试样	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	δ_5 /%	ψ /%	E_r /GPa	弯曲角/(°)
棒材	440	328	31	77	124	-
板材	470	340	36	-	-	180

2.1.2 室温组织

图 1 为再结晶态 Nb521 铌钨合金板材、棒材的室温组织,可以看出为等轴的再结晶组织。图 2 为成

收稿日期:2011-11-21

作者简介:张春基,1971 年出生,高级工程师,主要从事金属材料及旋压工艺研究。E-mail:zhchji2001@sina.com

品板材中碳化物的扫描电镜形貌照片,可以看出细小的碳化物弥散分布于晶内,较大的片状碳化物分布于晶界。这些碳化物在高温变形时起到钉扎晶界和位错、提高板材高温强度的作用。



图1 室温再结晶态组织

Fig.1 Microstructure of room temperature recrystallized material

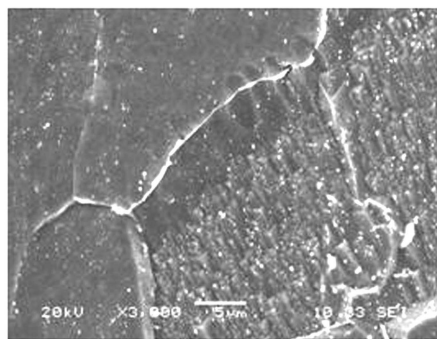
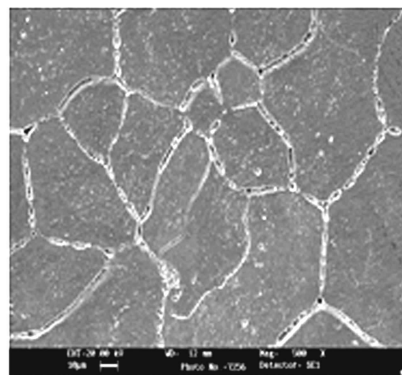
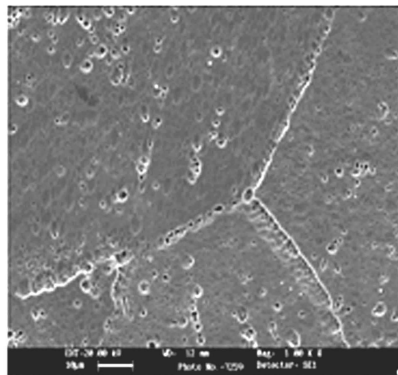


图2 板材中碳化物相

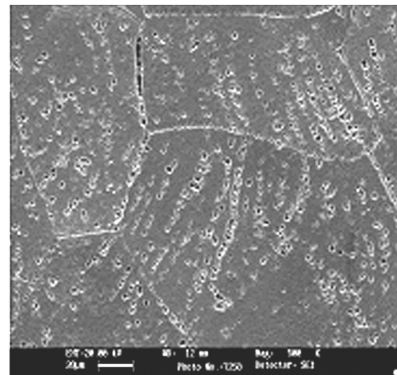
Fig.2 Carbide in sheet sample



(a) 1450°C



(b) 1500°C



(c) 1550°C

图3 Nb521合金高温处理后的组织形貌

Fig.3 Microstructures of Nb521 alloy after high temperature processing

由图3可见,随着加热温度的提高,强化相开始析出并聚集长大。碳化物作为铌钨合金的高温强化相,只有在其弥散分布的时候能起到好的高温强化作用,它的聚集和长大必将导致铌钨合金高温强度的下降。图4中的高温力学性能曲线也说明了强度下降与温度的关系。图5为铌钨合金在1600、1700°C保温11h和1800°C保温17h后的扫描电镜照片。可以看出,当铌钨合金在1600°C长时间加热情况下,析出的碳化物相形态几乎成为球状,沿晶界分布。

铌钨合金中存在MC、M₂C及M₃C₂等多种类型碳化物,微细而稳定的碳化物、氮化物和氧化物弥散相对铌合金是一种最有效的高温强化法^[1],铌钨合金中碳化物强化相为弥散分布的(Nb,Zr)C和Nb₂C^[2]。通过X射线衍射的方法对板材中的碳化物进行了标定,标定结果为ZrC。ZrC为弥散分布的稳定相,对铌钨合金主要起到弥散强化的作用。

2.2 高温性能及组织

2.2.1 高温力学性能

表3为Nb521铌钨合金板材、棒材的高温力学性能。发动机推力室要求1600°C时材料的抗拉强度一般不低于60MPa,由表3可知,该新材料具有很好的高温性能,完全满足发动机推力室的使用要求。

表3 Nb521铌钨合金板材、棒材高温力学性能

Tab.3 High temperature mechanical properties of Nb521 alloy sheet and bar

温度/°C	σ_b /MPa		$\sigma_{p0.2}$ /MPa	
	棒材	板材	棒材	板材
1450	157	134	130	128
1500	135	113	119	108
1550	110	109	110	104
1600	100	93	85	81
1700	83	80	75	74
1800	63	65	60	59

2.2.2 高温组织

图3为铌钨合金在1450、1500、1550°C时分别保温8h后的扫描照片。

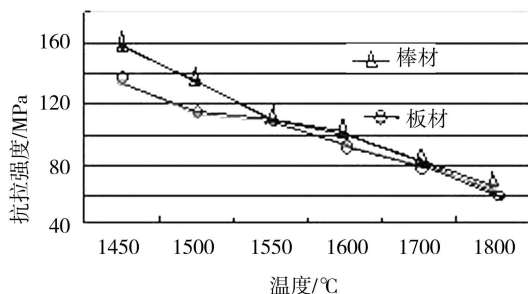
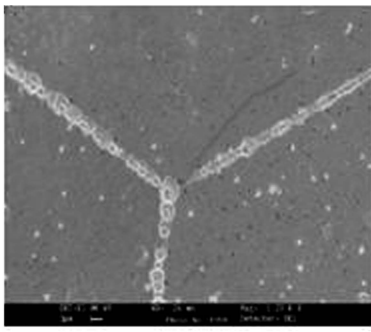
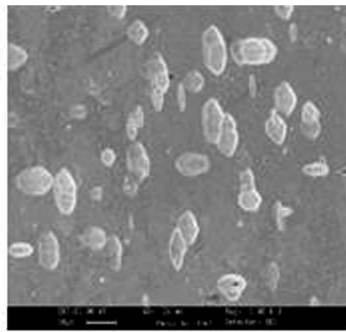


图4 高温力学性能曲线

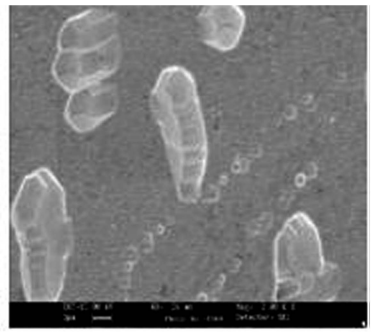
Fig.4 High temperature mechanical properties



(a) 1 600°C×11 h



(b) 1 700°C×11 h



(c) 1 800°C×17 h

图5 扫描电镜照片

Fig. 5 SEM micrographs

当保温时间相同时,随着温度的提高,碳化物在亚晶界及基体上析出并长大,碳化物的形态也不再是球形,而是有一定的晶体学取向。

3 Nb521 铌钨合金在液体火箭发动机上的应用

3.1 发动机身部用喷管延伸段的旋压成形

图6所示工件为用铌钨合金板材经过旋压成形的喷管延伸段,该工件高为950 mm,喷口直径为 $\Phi 650$ mm,最小端直径为 $\Phi 60$ mm,壁厚由1.5 mm向喷口处0.55 mm均匀过渡。

通过旋压试验,新研制的铌钨合金室温成形性能良好,该材料的极限变薄率应在70%左右。

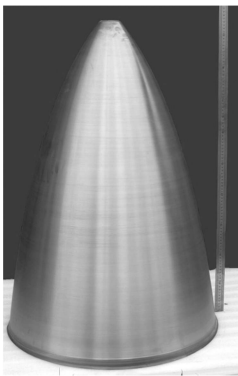


图6 喷管延伸段旋压件

Fig. 6 Spinning unit of nozzle extend

3.2 Nb521 铌钨合金身部

用Nb521铌钨合金研制的发动机身部,经过表面喷涂高温抗氧化涂层后,进行了数小时热试车试验。图7中为身部热试车时高温部分外观图,其中温度最高的部位位喉部(直径最小处)。图8为与喉部相对应的Nb521铌钨合金的组织。图8中铌钨合金的组织与图3(c)合金微观组织最为接近,因此可以判断发动机推力室身部在工作时高温部分的温度应在1550°C左右。可见新研制的铌钨合金具有优异的高温性能,能完全满足发动机身部对材料高温性能的要求。



图7 身部高温部分实物图

Fig. 7 Photo of high temperture part

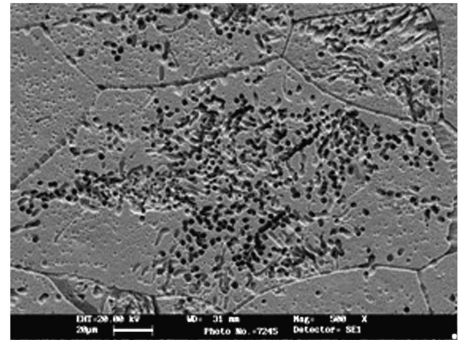


图8 喉部铌钨合金组织图

Fig. 8 Microstructure of throat

4 结论

(1) Nb521 铌钨合金含有多种碳化物强化相,强化相的聚集和长大会使材料的高温强度降低。

(2) Nb521 铌钨合金具有优异的室温塑性变形能力,能在室温成形较为复杂的工件。

(3) Nb521 铌钨合金具有良好的高温力学性能,能满足发动机在1550°C的使用要求。

参考文献

[1] 铌基合金碳化物弥散相的控制[J],新金属材料,1972(4):44-50

[2] 铌基合金的弥散强化机理[J],新金属材料,1971(1):68-73

(编辑 李洪泉)