

# 高温合金 GH

高温合金是以铁、镍、钴为基础的可以在 600°C 以上的高温工作的合金，具有良好的抗氧化和抗腐蚀性能，良好的疲劳性能、断裂韧性等综合性能，广泛应用于航空、航天、石油、化工、舰船。常用的有 gh3030、gh4169、gh4141、gh5188、gh3128、gh4145 等等。

## 种类及用途

GH3128, GH4169, GH2747/ GH747, GH5188, MP35N, GH3536, GH3039, GH3030, GH3044, GH4141(GH141), Nimonic80A, Nimonic90, GH414, (GH145), GH2132, GH140

## ► GH3128

GH3128 是 Ni-Cr 基固溶强化型变形高温合金，使用温度在 950°C 以下。合金中加入 w (W+ Mo) 16% 进行固溶强化，加入硼、铈和锆元素净化和强化晶界。合金具有高的塑性、较高的持久和蠕变强度，以及良好的抗氧化性能、冲压和焊接等工艺性能，综合性能优于 GH3044 和 GH3536 等同类镍基固溶强化合金。适于制作在 950°C 下长期工作的航空发动机燃烧室火焰筒、加力燃烧室壳体等部件。主要产品有冷轧薄板、热轧板、棒材、锻件、丝材和管材。

GH3128 合金已用于制造航空发动机火焰筒、扩散器、加力燃烧室、尾喷口、调节片、稳定器、扩散器和燃气导管等，批产和使用情况良好。合金也推广应用于测温热电偶保护管、磁通门、磁力仪探头、骨架材料、W 和 Mo 还原烧结用料舟、铁路机车预燃室喷嘴等高温氧化气氛下的结构件。零件在高温下工作时可采用 W-2 珐琅层进行有效的保护。合金经长期时效后有  $\mu$  相析出。

GH3128 化学成分

元素	C	Cr	Ni	W	Mo	Al	Ti	Fe
质量分数 / %	≤0.05	19.0-22.0	余	7.5-9.0	7.5-9.0	0.4-0.8	0.4-0.8	≤2.0
元素	Zr	B	Ce	Si	P	S	Mn	
质量分数 / %	≤0.06	≤0.005	≤0.05	≤0.8	≤0.013	≤0.013	≤0.5	

GH3128 物理及力学性能

密度	熔点
----	----

8.81g/cm <sup>3</sup>	1340 ~ 1390°C
-----------------------	---------------

品种	试样状态	θ/°C	拉伸性能		持久性能			
			σ <sub>b</sub> /MPa	δ <sub>5</sub> /%	σ/MPa	δ/mm	t/h	δ <sub>5</sub> /%
			不小于					
热轧板	交货状态	20	735	40	-	-	-	-
	交货状态 + 1200°C, 空冷	950	175	40	-	-	-	-
冷轧薄板	交货状态	20	735	40	-	-	-	-
	交货状态 + 1200°C, 空冷	950	175	40	规范 I	>1.2	≥23	实测
					54	≤1.2	≥20	实测
					规范 II	≥1.5	≥100	实测
<1.5 ~ 1.0	≥80	实测						
39	≤1.0	≥70	实测					

#### 热处理制度

A) 冷轧板和热轧板, (1140~1180) °C / AC, 保温时间根据板材的厚度而定;

B) 中厚板(δ15mm~65mm), (1180~1200) °C / AC, 保温时间根据板材的厚度而定;

C) 热轧和锻制棒材, (1140~1200) °C/AC×(1.5~2) h/AC。

D) 饼材, (1180~1200) °C/AC, 保温时间的选取应保证制件能热透、固溶充分或满足退火要求。

#### ► GH4169

## 概述

该合金的另一特点是合金组织对热加工工艺特别敏感，掌握合金中析出和溶解规律及组织与工艺、性能的相互关系，可针对不同的使用要求制定合理、可行的工艺规程，就能获得可满足不同强度级别和使用要求的各种零件。供应的品种有锻件、锻棒、轧棒、冷轧棒、圆饼、环件、板、带、丝、管等。可制成盘、环、叶片、轴、紧固件和弹性元件、板材结构件、机匣等零部件在航空上长期使用。[1]

### 1.1 GH4169 材料牌号

GH4169(GH169)

### 1.2 GH4169 相近牌号

Inconel718 (美国) , NC19FeNb(法国)

### 1.3 GH4169 材料的技术标准

GJB 2612-1996 《焊接用高温合金冷拉丝材规范》

HB 6702-1993 《WZ8 系列用 GH4169 合金棒材》

Q/6S 1034-1992 《高温紧固件用 GH4169 合金棒材》

Q/3B 548-1996 《GH4169 合金锻件》

Q/3B 548-1996 《GH4169 合金锻件》

Q/3B 4048-1993 《YZGH4169 合金棒材》

Q/3B 4050-1993 《GH4169 合金板材》

Q/3B 4051-1993 《GH4169 合金丝材》

GB/T14992-2005 《高温合金》

### 1.4 GH4169 化学成分

该合金的化学成分分为 3 类：标准成分、优质成分、高纯成分，见表 1-1。优质成分的在标准成分的基础上降碳增铌，从而减少碳化铌的数量，减少疲劳源和增强强化相的数量，提高抗疲劳的含量，提高材料的纯度和综合性能。

核能应用的 GH4169 合金，需控制硼的含量（其他元素成分不变），具体含量有工序双方协商确定。当 $\omega(B) \leq 0.002\%$

时，为与宇航工业用的 GH4169 合金加以区别，合金牌号为 GH4169A。

表 1-1

类别	C	Cr	Ni	Co	Mo	Al	Ti	Fe
标准	≤0.08	17.0~21.0	50.0~55.0	≤1.0	2.80~3.30	0.30~0.70	0.75~1.15	余
优质	0.02~0.06	17.0~21.0	50.0~55.0	≤1.0	2.80~3.30	0.30~0.70	0.75~1.15	余
高纯	0.02~0.06	17.0~21.0	50.0~55.0	≤1.0	2.80~3.30	0.30~0.70	0.75~1.15	余

类别	Nb	B	Mg	Mn	Si	P	S	Cu	Ca
-	-	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于
标准	4.75~5.50	0.006	0.01	0.35	0.35	0.015	0.015	0.30	0.01
优质	5.00~5.50	0.006	0.01	0.35	0.35	0.015	0.015	0.30	0.01
高纯	5.00~5.50	0.006	0.005	0.35	0.35	0.015	0.015	0.30	0.005

类别	Bi	Sn	Pb	Ag	Se	Te	Tl	N	O
-	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于	不大于
标准	---	---	0.0005	---	0.0003	---	---	---	---
优质	0.001	0.005	0.001	0.001	0.0003	---	---	0.01	0.01
高纯	0.00003	0.005	0.001	0.001	0.0003	0.00005	0.0001	0.01	0.005

### 1.5 GH4169 热处理制度

合金具有不同的热处理制度，以控制晶粒度、控制 $\delta$ 相形貌、分布和数量，从而获得不同级别的力学性能。合金热处理制

度分 3 类：

I：(1010~1065) $^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，1h，油冷、空冷或水冷+720 $^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，8h，以 50 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$  炉冷至 620 $^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，8h，空冷。

经此制度处理的材料晶粒粗化，晶界和晶内均无 $\delta$ 相，存在缺口敏感性，但对提高冲击性能和抵抗低温氢脆有利。

II：(950~980) $^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，1h，油冷、空冷或水冷+720 $^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，8h，以 50 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$  炉冷至 620 $^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，8h，空冷。

经此制度处理后，材料中的 $\delta$ 相比较少，能提高材料的强度和冲击性能。该制度也称为直接时效热处理制度。

## 1.6 GH4169 品种规格与状态

可供应模锻件（盘、盘整体锻件）、饼、环、棒（锻棒、轧棒、冷拉棒）、板、丝、带、管、不同形状和尺寸的紧固件、弹性元件等。交货状态有供需双方商定。丝材以商定的交货状态成盘装交货。

## 1.7 GH4169 熔炼与铸造工艺

合金的冶炼工艺分为3类：真空感应电渣重熔；真空感应加真空电弧重熔；真空感应加电渣重熔加真空电弧重熔。可根据零件的使用要求，选择所需的冶炼工艺，满足应用要求。

## 1.8 GH4169 应用概况与特殊要求

制造航空和航天发动机中各种静止件和转动件，如盘、环件、机匣、轴、叶片、紧固件、弹性元件、燃气导管、密封元件等和焊接结构件；制造何能工业应用的各种弹性元件和格架；制造石油和化工领域应用的零件及其他零件。

近年来，在对该合金研究不断深化和对该合金应用不断扩大的基础上，为提高质量和降低成本，发展了很多工艺：真空电弧重熔时采用氮气冷却工艺，有效的减轻铈偏析；采用喷射成形工艺生产环件，降低成本和缩短生产周期；采用超塑成形工艺，扩大产品的生产范围。

## 2 GH4169 物理及化学性能

### 2.1 GH4169 热性能

#### 2.1.1 GH4169 熔化温度范围 1260~1320°C

#### 2.1.2 GH4169 导热率 见表 2-1

表 2-1

$\theta/^\circ\text{C}$	11	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\lambda \text{ (W/(m}\cdot\text{C))}$	13.4	14.7	15.7	17.8	18.3	19.6	21.2	22.8	23.6	27.6	30.4

#### 2.1.3 GH4169 比热容 见表 2-2。

表 2-2

$\theta/^\circ\text{C}$	300	400	500	600	700	800	900	1000
$c \text{ (J/(kg}\cdot\text{C))}$	481.4	493.9	514.8	539.0	573.4	615.3	657.2	707.4

### 2.1.4 GH4169 线膨胀系数 见表 2-3。

表 2-3

$\theta/^\circ\text{C}$	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	20~800	20~900	20~1000
$\alpha/10^{-6}\text{C}^{-1}$	11.8	13.0	13.5	14.1	14.4	14.8	15.4	17.0	18.4	18.7

### 2.2 GH4169 密度

$\rho=8.24\text{g}/\text{cm}^3$

### 2.3 GH4169 电性能

### 2.4 GH4169 磁能型

合金无磁性

### 2.5 GH4169 化学性能

2.5.1 GH4169 抗氧化性能 在空气介质中试验 100h 后的氧化速率见表 2-4

表 2-4

$\theta/^\circ\text{C}$	600	700	800	900	1000
氧化速率/ $(\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))$	0.0176	0.0277	0.0351	0.0961	0.1620

## 3 GH4169 工艺性能与要求

### 3.1 GH4169 性能

3.1.1 因 GH4169 合金中铌含量高，合金中的铌偏析成都与冶金工艺直接相关。电渣重熔和真空电弧熔炼的熔炼速度和电极棒的质量状态直接影响材质的优劣。熔速快，已形成富铌的黑斑；熔速慢，会形成贫铌的白斑；电极棒表面质量差和电极棒内部有裂纹，均易导致白斑的形成，所以，提高电极棒质量和控制熔速及提高钢锭的凝固速率是冶炼工艺的关键因素。为避免钢锭中的元素偏析过重，至今采用的钢锭直径不大于 508mm。品均化工艺必须确保钢锭中的 L 相完全溶解。钢锭两阶段均匀化和中间坯二次均匀化处理的时间，根据钢锭和中间坯的直径而定。均匀化工艺的控制与材料中铌的偏析成直接相关。

目前生产中采用的 1160°C，20h+1180°C，44h 的均匀化工艺，尚不足以消除钢锭中心的偏析，

因此建议采用以下工艺：

1.1150°C~1160°C，20h~30h+1180°C~1190°C，110h~130h；

2.1160°C, 24h+1200°C, 70h。

5.1.2 经均匀化处理的合金具有良好的热加工性能。钢锭的开坯加热温度不得超过 1120°C。锻件的锻造工艺应根据锻件使用状况和应用要求, 结合生产厂的条件而定。开坯和生产锻件时, 中间退火温度和温度必须跟军零件所需要的组织状态和性能来确定, 一般情况下, 锻造的温度控制在 930°C~950°C之间为宜。个类锻件的锻造温度和变形程度见表 5-1

表 3-1

锻件类别	第一次锻造	第一次锻造	第二次锻造	第二次锻造	晶粒度/级	晶粒度/级
-	加热温度/°C	变形量/%	加热温度/°C	变形量/%	基本晶粒	个别大晶粒
普通	1065~1090	---	1040~1065	---	4~6	允许
高强	1040~1065	---	1010~1040	30~50	8	≥2
直接时效	995~1025	>50	970~995	>50	10	≥2

#### **GH4169 预热**

工件在加热之前和加热过程中都必须进行表面清理, 保持表面清洁。若加热环境含有硫、磷、铅或其他低熔点金属, GH4169 合金将变脆。杂质来源于做标记的油漆、粉笔、润滑油、水、燃料等。燃料的硫含量要低, 如液化气和天然气的杂质含量要低于 0.1%, 城市煤气的硫含量要低于 0.25g/m<sup>3</sup>, 石油气的硫含量低于 0.5%是理想的。

加热的电炉要具有较精确的控温能力, 炉气为中性或弱碱性, 应避免炉气成分在氧化性和还原性中波动。

#### **GH4169 热加工**

GH4169 合金合适的热加工温度为 1120-900°C, 冷却方式可以是水淬或其他快速冷却方式, 热加工后应及时退火以保证性能。

热加工时材料应加热到加工温度的上限, 为了保证加工时的塑性, 变形量达到 20%时的终加工温度不应低于 960°C。

#### **GH4169 冷加工**

冷加工应在固溶处理后进行, GH4169 的加工硬化率大于奥氏体不锈钢, 因此加工设备应作相应调整, 并且在冷加工过程中应有中间退火过程。

#### **GH4169 热处理**

不同的固溶处理和时效处理工艺会得到不同的材料性能。由于γ' 相的扩散速率较低, 所以通过长时间的时效处理能使 GH4169 合金获得机械性能。

## **GH4169 打磨**

在 GH4169 工件焊缝附近的氧化物要比不锈钢的更难以去除，需要用细砂带打磨，在硝酸和氢氟酸的混合酸中酸洗之前，也要用砂纸去除氧化物或进行盐浴预处理。

## **GH4169 机加工**

GH4169 的机加工需在固溶处理后进行，要考虑到材料的加工硬化性，与奥氏体不锈钢不同的是，GH4169 适合采用低表面切削速度。

## **GH4169 焊接**

沉淀硬化型的 GH4169 合金很适合于焊接，无焊后开裂倾向。适焊性、易加工性、高强度是这种材料的几大优点。

GH4169 适合于电弧焊、等离子焊等。在焊接前，材料表面要洁净、无油污、无粉笔记号等，焊缝周围 25mm 范围内要打磨露出光亮的金属。

GH4169 推荐使用的焊接材料：

GTAW/GMAW

Nicrofer S 5219

W.-Nr. 2.4667

SG-NiCr19NbMoTi

AWS A 5.14 ERNiFeCr-2

BS 2901 Part 5: NA 51

## **4 GH4169 功能考核试验**

用该合金制造的涡轮盘、甩油盘、整体转子、轴、紧固件等零件已按照发动机所用的型号规范，在发动机零、部件试验中通过了超转、破裂、低循环疲劳试验；通过了高空台试车个长期（寿命）试车及试飞发射的考核，达到了设计和应用的要求。

## **5 GH4169 使用建议**

推荐使用，使用中必须避免出现超过材料承受性能的应力集中。

## ► GH2747/GH747

### 1、简介:

GH2747 是 Fe-Ni-Cr 基沉淀硬化型变形高温合金，在固溶状态下使用，长期工作使用温度在 1100-1250 摄氏度，短时使用温度可达 1300 摄氏度。合金的强度高、较好的组织稳定性，具有良好的抗氧化和耐腐蚀性能。

### 2、成分:

碳 C	铬 Cr	镍 Ni	铁 Fe	钼 Mo	硅 Si	锰 Mn	磷 P	硫 S	铝 Al	钒 V	钨 W	铈 Ce
≤0.10	15-17	44-46	余	-	≤1.0	≤1.0	≤0.02	≤0.025	2.9-3.9	~	-	≤0.03

### 3、性能:

密度 g/cm <sup>3</sup>	热导率/w/(m.k)	线胀系数/(10 <sup>-6</sup> /k)
	100~900℃	20~800℃
8.26	10.5-24.3	17.07

温度 0/℃	20	500	600	700	800
弹性模量 E/GPa	218	177	159	146	128

品种	热处理	温度 0/℃	拉伸强度Σb\MP	延伸率 A/%	断面收缩 Z
			a		/%≥
热轧棒	标准热处理	20	550	15	20
		1000	40	30	30
冷轧薄板	标准热处理	20	600	30	

### 4、焊接:

合金具有满意的焊接工艺性能，采用所有焊接方式均能很好的进行焊接。氩弧焊、点焊、滚焊和电子束焊接效果优良，与异种材料焊接时，可采用母材金属丝作填充材料，也可采用同类型合金做填充材料。

### 5、应用领域:

GH2747 适合制作发动机燃烧室及加力燃烧室内抗氧化等部件，工业用各种锅炉、传动装置、热电偶套管等耐热部件。如石化、核能、冶金等领域用高温抗氧化装置零部件。

## ► GH5188

### 1、简介:

GH5188 是固溶强化型钴基高温合金，加入 14%的钨固溶强化，使合金具有优良的高温热强性，添加较高含量铬和微量镧，使合金具有良好的高温抗氧化性能，同时具有满意的成形、焊接等工艺性能，适于制造航空发动机上在 980℃以下要求高强度和在 1100℃以下要求抗氧化的零件。也可在航天发动机和航天飞机上使用。可生产供应各种变形产品，如薄板、中板、带材、棒材、锻件、丝材以及精密铸件。

### 2、牌号:

高温新名称	高温旧名称	耐蚀新名称	耐蚀旧名称	国标牌号
GH5188	GH188			
日本JIS	美标ASTM	美 标UNS、SAE	德标DIN	欧洲EN
	N0188	30188		

### 3、成分:

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	La	Cu	Fe	B	W	Co
Min	0.05	0.2	-	-	-	20	20	0.03	-	-	-	13	-
Max	0.15	0.5	1.25	0.02	0.015	24	24	0.12	0.07	3	0.015	16	余量

### 4、性能:

密度g/cm <sup>3</sup>	磁性	热导率/w/(m.k)	电阻率	比热容	线胀系数
		200~900℃	℃)/(Ω.mm <sup>2</sup> /m)	℃)/kg/(kg.k)℃	/(10 <sup>-6</sup> /k)
			20~900℃	100~900℃	20~900℃
9.09	无	12.23-29.06	1.051-1.213	208-588	15.7
温度0/℃	20	100	200	300	400
弹性模量 E/GPa	237	234	227	221	213

### 5、应用领域:

制作航空发动机燃烧室火焰筒、导向叶片、燃气涡轮及导弹高温部件。

## ▶ MP35N:

MP35N 是一种可进行时效硬化处理的镍-钴类合金，具有多种性质的独特组合 – 超高强度、韧性、延展性和出色的抗腐蚀性。MP35N 在硫化氢、盐水和其他氯化物溶液中具有抗腐蚀性。在海水和其他恶劣环境中，它还具有出色的抗缝隙腐蚀和抗应力腐蚀破裂能力。适合要求兼具高强度、高模数值和良好抗腐蚀性的环境。此合金的应用还包括医疗器械和牙科产品

MP35N 牌号:

国标	美标	德标	日本
mp35n	R30035	2.4999	mp35n

MP35N 成分:

元素	C	P	Si	Ni	Co	Cr	Mo	Ti	Fe	Mn	S
Max	0.025	0.015	0.15	37	余量	21	10.5	1	1	0.15	0.01
Min	-	-	-	33		19	9	-	-	-	-

MP35N 性能:

密度	熔点	膨胀系数	弹性模数	抗拉强度
8.43 g/cm <sup>3</sup>	1440°C	12.8 μm/m °C	234 kN/mm <sup>2</sup>	1900MPa

MP35N 执行标准: AMS5758、AMS5844、AMS5845、ANSI/ASTM F562

## ▶ GH3536

简介:

GH3536 是 Fe-Ni-Cr 基固溶强化型变形高温合金，合金在 900°C 高温时具有中等的持久和蠕变强度。具有良好的抗氧化和耐腐蚀性能，良好的冷热加工成形性和焊接性能，适于制作在 900°C 以下长期使用的航空发动机燃烧室等部件，以及工作温度可达 1080°C 短时使用的高温部件。主要有板、带、管、棒、锻件和铸件。

各国对应牌号:

美标	法标	德标	英标	国标
NO6002 /HastelloyX	NC22FeD	NiCr22FeMo	Nimonic PE13	GH3536

化学成分:

元素	C	Cr	Ni	W	Mo	Fe	B	S	Mn	Si	P	Cu	Ti	Al	C
Min	0.05	20.5	-	0.2	8	17	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Max	0.15	23	余量	1	10	20	0.01	0.015	1	1	0.015	0.5	0.15	0.5	2

## 性能参数:

密度 g/cm <sup>3</sup>	磁性	拉伸强度 $\Sigma b$ MPa ≥	延伸率 A/% ≥
8.28	无	690	30

热导率/w/(m.k) 100~900℃	电阻率 °C)/(Ω.mm <sup>2</sup> /m) 20~900℃	比热容 °C)/kg/(kj.k)°C 100~900℃	线胀系数 /(10-6/k) 20~900℃
13.38-33.44	1.18-1.29	0.3726-0.561	16.1

## 用途:

- 工业和航空汽轮机（燃烧室、整流器、结构盖）
- 工业炉部件、支撑辊、栅板、丝带和辐射管
- 石油化学炉中的螺旋管
- 高温气体冷却核反应堆

## ► GH3039

### 一、GH3039 镍基高温合金概述:

GH3039 为单相奥氏体型固溶强化合金，在 800℃以下具有中等的热强性和良好的热疲劳性能，1000℃以下抗氧化性能良好。长期使用组织稳定，还具有良好的冷成形性和焊接性能。适宜于 850℃以下长期使用的航空发动机燃烧室和加力燃烧室零部件。该合金可以生产板材、棒材、丝材、管材和锻件。

1、GH3039 材料牌号: GH3039(GH39)

2、GH3039 材料的技术标准:

GJB 1952-1994 《航空用高温合金冷轧薄板规范》

GJB 2297-1995 《航空用高温合金冷拔（轧）无缝管规范》

GJB 2612-1996 《航空用高温合金冷拉丝材规范》

GJB 3165-1998 《航空承力件用高温合金热轧和锻制棒材规范》

GJB 3317-1998 《航空用高温合金热轧板规范》

GJB 3318-1998 《航空用高温合金冷轧带材规范》

GB/T15062-1994 《一般用途高温合金管》

3、GH3039 化学成分：见表 1-1。

表 1-1 %

C≤	Si≤	Mn≤	P≤	S≤	Cr≥	Ni≥	Mo≥	Cu≤
0.08	0.80	0.40	0.020	0.012	19.0-22.0	余量	1.80-2.30	
其他	N≤	Al≤	Ti≤	Fe≤	Co≤	V≤	W≤	Nb≤
	-	0.35-0.75	0.35-0.75	3.00	-	-	-	0.90-1.30

注：1) .合金中允许有 Ce 存在。

2) .合金中 $\omega(\text{Cu})=0.20\%$ 。

4、GH3039 热处理制度：热轧及冷轧板材和带材固溶处理：1050~1090℃，空冷。棒材及管材固溶处理：1050~1080℃，空冷或水冷。

5、GH3039 品种规格和供应状态：可以供应各种规格的热轧板、冷轧板、带材、棒材、丝材、管材、和锻件。板材、带材和管材固溶处理和酸洗后交货。丝材于冷加工状态或固溶状态供应棒材不热处理交货。

6、GH3039 熔炼和铸造工艺：合金采用电弧炉熔炼、电弧炉或非真空感应炉加电渣重熔或真空电弧重熔以及真空感应炉加电渣或真空电弧重熔工艺。

7、GH3039 应用概况与特殊要求：用该合金材制作的航空发动机燃烧室及加力燃烧室零部件，经过长期的生产和使用考验，使用性能良好。

二、GH3039 物理及化学性能：

1、GH3039 热性能：

(1)、GH3039 热导率：见表 2-1。

**表 2-1**

$\theta/^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\lambda/(\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C}))$	13.8	15.5	17.2	18.8	20.5	21.8	23.4	25.1	26.8

(2)、GH3039 比热容：见表 2-2。

**表 2-2**

$\theta/^\circ\text{C}$	150	200	300	400	500	600	700	800
$c/(\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K}))$	544	574	636	645	762	779	921	1047

(3)、GH3039 线膨胀系数：见表 2-3。

**表 2-3**

$\theta/^\circ\text{C}$	20-100	20-200	20-300	20-400	20-500	20-600	20-700	20-800	20-900	20-1000
$\alpha/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	11.5	12.4	13.2	13.5	13.8	14.3	14.9	15.3	15.8	16.4

2、GH3039 密度： $\rho=8.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。

3、GH3039 电性能：室温电阻率 $\rho=1.18\times 10^{-6}\Omega\cdot\text{m}$ 。

4、GH3039 磁性能：合金无磁性。

5、GH3039 化学性能：GH3039 抗氧化性能：

(1)、GH3039 在空气介质中经 100h 试验后的氧化速率：见表 2-4。

$\theta/^\circ\text{C}$	900	1000	1100	1200
氧化速率/ $(\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))$	0.074	0.251	0.535	1.061

**表 2-5**

$\theta/^\circ\text{C}$	900	1000	1100
-------------------------	-----	------	------

沿晶界氧化深度/mm	0.020	0.052	0.068
------------	-------	-------	-------

## ▶ GH3030

GH3030 的化学成分:

合金	%	铁	铬	磷	铜	镍	铝	钛	碳	锰	硅	钒	硫
GH3030	Min		19			余		0.1 5				0.10	
	Max	1.0	22	0.015	0.20	量	0.15	0.35	0.12	0.70	0.80	0.50	0.02

GH3030 的物理性能:

密度	8.4 g/cm <sup>3</sup>
熔点	1374-1420℃

GH3030 固溶状态, 在常温下合金的机械性能:

合金状态	抗拉强度 $\sigma_b$ (Mpa)	延伸率 A5 %
GH3030	$\geq 785$	$\geq 35$

此合金具有以下特性:

80Ni-20Cr 固溶强化型高温合金, 化学成分简单, 在 800 ℃ 以下具有满意的热强性和高的塑性, 并具有良好的抗氧化、热疲劳、冷冲压和焊接工艺性能。合金经固溶处理后为单相奥氏体, 使用过程中组织稳定。

GH3030 的金相结构:

GH3030 合金为单相奥氏体组织, 间有少量 TiC 和 Ti(CN)。

GH3030 应用范围应用领域有:

1. 主要用于 800 ℃ 以下工作的涡轮发动机燃烧室部件
2. 在 1100 ℃ 以下要求抗氧化但承受载荷很小的其他高温部件

3. 用于搪瓷炉内做移动烧架框

我公司生产的产品品种:

冷、热板材 带材 管材 丝材 锻棒 热轧棒 机加工成品

## ► GH3044

### GH3044 产品介绍

GH3044 合金是体固溶强化镍基抗氧化合金, 在 900°C 以下具有高的塑性和中等的热强性, 并具有优良的抗氧化性和良好的冲压、焊接工艺性能, 适宜制造在 900°C 以下长期工作的航空发动机主燃烧室和加力燃烧室零部件以及隔热屏、导向叶片等。

### GH3044 技术标准

锻件	GB/T14997 GB/T14998 GJB3020
棒材	GB/T14994 GB/T1493 HB5189 GJB3165
板/带	GB/T14995 GB/T14996 GJB3317 GJB1952 GJB331 8
丝	GB/T5249 GJB2612

### GH3044 品种规格

板材、棒材、环锻件、成品协商供应

### GH3044 化学成分

C	Mn	Si	P	S	Ni
≤0.10	≤0.50	≤0.80	≤0.013	≤0.013	余

Cr	Mo	W	Al	Ti	Fe
23.5-26.5	≤1.5	13.0-16.0	≤0.5	0.3-0.7	≤4.0

### GH3044 力学性能

规格	$\theta/^\circ\text{C}$	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	W / %
棒材	20	684	40	45
	900	195	30	40
环锻件	20	735	40	-
	900	195	30	-
带	20	735	40	-
冷、热轧板	20	735	40	-

### GH3044 物理性能

密度: 8.89 g/m<sup>3</sup>

熔点: 1352°C-1375°C

磁性能: 无

### GH3044 焊接性能

- 1、具有良好的焊接性能，可以用氩弧焊、点焊、缝焊及钎焊等方法焊接。
- 2、氩弧焊时熔池流动性较差，但裂纹倾向性较小。接触焊时核心内较易形成结合线伸入及缩孔，一般宜采用较大的电极压力和较低的焊接速度。

### GH3044 零件热处理工艺

- 1.中间热处理温度为 1140°C±10°C，保温 3~5min，空冷。
- 2.\*终热处理温度根据零件工作条件确定，对要求有良好的热疲劳性能的零件于 1150°C固溶，保温 3~5min，空冷；
- 3.对要求有较高热强性的零件于 1200°C固溶，保温 3~5min，空冷。

### GH3044 表面处理工艺

在高温下工作的零件可采用 W-2 珐琅涂层进行有效的保护

## GH3044 应用领域

- 航空发动机主燃烧室、加力燃烧室
- 航空发动机焊接结构件
- 发动机安装边、导管
- 导向叶片零部件

## ► GH4141/GH141

### 一、概述

GH141 是沉淀硬化型镍基变形高温合金，在 650~950℃ 范围内，具有高的拉伸和持久蠕变强度和良好的抗氧化性能。由于合金中铝、钛、钼含量较高，铸锭开坯比较困难，但变形后的材料具有较好的塑性，在退火状态下可以冷成形，也可进行焊接，焊接部件热处理时易产生应变时效裂纹。合金的品种有薄板、带、丝、盘件、环形件、锻件、棒材、和精密铸件等，适合于制造在 870℃ 以下要求有高强度和 980℃ 以下要求抗氧化的航空、航天发动机高温零部件。

#### 1.1 GH141 材料牌号 GH4141

1.2 GH141 相近牌号 UNS N07041, Rene'41, R41, Carpenter41, PYROMET41, UNITEMP41, HynessalloyR41, J1610(美国)。

#### 1.3 GH141 材料的技术标准

Q/3B 4060-1992 《GH141 合金棒材》

Q/3B 4063-1992 《GH141 合金冷轧带材》

Q/5B 4027-1992 《GH141 合金圆饼、环坯、环形件》

Q/6S 1033-1992 《高温紧固件用 GH141 合金棒材》

抚高新 84-13 《航天用 GH141 合金棒材技术条件》

#### 1.4 GH141 化学成分 见表 1-1。

表1-1

%

C	Cr	Ni	Co	Mo	Al	Ti	B	Fe	Zr	Mn	Si	P	S	Cu
								不大于						
0.06~0.12	18.0~20.0	余	10.0~12.0	9.00~10.50	1.40~1.80	3.00~3.50	0.003~0.010	5.00	0.07	0.50	0.50	0.015	0.015	0.50

注：航天用材可加入 $\omega(\text{Mg}) < 0.05\%$ 和 $\omega(\text{La}) < 0.035\%$ 。

表1-2

品种	热处理制度
(航空)圆饼、环坯、环零件、棒、板材	规范 I: 1080°C±10°C, 快淬+1120°C±10°C, 0.5h, 空冷+900°C±10°C, 1-4h, 空冷
(航天)棒、盘件	规范 II: 1080°C, 4h, 油冷+760°C, 16h, 空冷
	规范 III: 1065°C, 4h, 空冷+760°C, 16h, 空冷
板材	规范 IV: 1180°C, 30min, 空冷+900°C, 4h, 空冷
	规范 V: 1080°C, 保温不小于2.4min/mm, 空冷+760°C, 16h, 空冷

1.6 GH141 品种规格与供应状态 可提供各种规格的圆饼、环坯、环零件、薄板、带材、棒材、锻件和精密铸件等。板材于固溶状态交货，棒材和锻件不经热处理交货。

1.7 GH141 熔炼与铸造工艺 合金采用真空感应熔炼、真空感应熔炼加电渣重熔或真空电弧重熔工艺。

1.8 GH141 应用概况与特殊要求 该合金广泛用于制造航空、航天发动机高温承力零部件，如导向叶片、燃烧室、涡轮、导向器高温承力件、轴、盘、叶片和紧固件等，板材焊接件热处理时的应变时效裂纹，可采用焊前过时效处理或在焊前控制固溶处理后的冷却速度的方法来解决，焊后再进行标准热处理。

## 二、GH141 物理及化学性能

### 2.1 GH141 热性能

2.1.1 GH141 熔化温度范围 1316~1371°C[2]。

2.1.2 GH141 热导率 见图 2-1。

表2-1<sup>[2]</sup>

$\theta/^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\lambda/(\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C}))$	8.37	10.47	12.56	15.07	17.17	19.56	21.35	23.45	25.96

2.1.3 GH141 线膨胀系数 见图 2-2。

表2-2<sup>[2]</sup>

$\theta/^\circ\text{C}$	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	20~800	20~900
$\alpha_1/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	10.54	11.69	12.24	12.78	13.08	13.48	14.21	14.97	15.91

2.2 GH141 密度  $\rho=8.27\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2.3 GH141 电性能  $\delta 2\text{mm}$  板材的室温电阻率见表 2-3。

表2-3<sup>[3]</sup>

状态	$\rho/(10^{-6}\Omega\cdot\text{m})$	状态	$\rho/(10^{-6}\Omega\cdot\text{m})$
热轧	1.31	1175℃,0.5h,空冷	1.33
1065℃,4h,空冷	1.25	1175℃,0.5h,空冷+900℃,4h,空冷	1.34
1065℃,4h,空冷+760℃,16h,空冷	1.27		

2.4 GH141 磁性能 见表 2-4。

表2-4<sup>[4]</sup>

状态	20℃下300Oe 时的磁导率/(H/m)
1065℃,4h,空冷+760℃,16h,空冷	<1.002
1175℃,0.5h,空冷+900℃,4h,空冷	<1.002

2.5 GH141 化学性能

2.5.1 GH141 抗氧化性能 在空气介质中的氧化速率见表 2-5。

表2-5<sup>[9]</sup>

表面状态	$\theta/^\circ\text{C}$	不同时间氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))					表面状态	$\theta/^\circ\text{C}$	不同时间氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))				
		25h	50h	75h	100h	200h			25h	50h	75h	100h	200h
磨光	900	0.240	0.150	0.120	0.095	0.066	磨光	1100	1.360	0.870	0.750	0.680	0.490
磨光	1000	0.610	0.410	0.320	0.260	0.182	W-2涂层	1100	0.496	0.494	0.413	0.356	---

### 三、GH141 力学性能

3.1 GH141 技术标准规定的性能

3.1.1 GH141 圆饼、环坯、环形件、大棒材标准规定的性能见表 3-1。

表3-1

材料标准	品种	热处理制度	拉伸性能					HBS	持久性能			
			$\theta/^\circ\text{C}$	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	$\phi/\%$		$\theta/^\circ\text{C}$	$\sigma/\text{MPa}$	t/h	$\delta/\%$
Q/5B 4027-1992 Q/3B 4060-1992	圆饼、环坯、 环形件、大 棒材	1080℃±10℃, 快淬+ 1120℃±10℃, 30min, 空冷 +900℃±10℃, 4h, 空冷	760	≥835	≥620	≥12	≥15	≥283	900	172	≥20	-

注：1 环形件经退火处理后的室温硬度 HBS≤363。

2 经固件和时效处理后的室温硬度 HRC≥30(HBS≥283)。

3.1.2 GH141 紧固件标准规定的性能见表 3-2。

表3-2

材料标准	品种	热处理制度	拉伸性能					持久性能		
			$\theta/^\circ\text{C}$	$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	$\phi/\%$	$\theta/^\circ\text{C}$	$\sigma/\text{MPa}$	t/h
Q/6S 1033-1992	紧固件	冷拉后 $1080^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，快淬+ $1120^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，30min，空冷+ $900^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ ，4h，空冷	20	$\geq 1070$	-	$\geq 8$	$\geq 10$	730	586	$\geq 30$
			760	$\geq 870$	-	$\geq 8$	$\geq 10$			

3.1.3 GH141d90mm 棒材标准规定的性能见表 3-3。

表3-3

热处理状态	$\theta/^\circ\text{C}$	拉伸性能				HBS	冲击韧性	持久性能	
		$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	$\phi/\%$		$a_{KV}/(\text{kJ}/\text{m}^2)$	$\sigma/\text{MPa}$	t/min
		不小于							
1065~1080 $^\circ\text{C}$ ,4h,油冷或空冷+760 $^\circ\text{C}$ ,16h,空冷	20	1175	880	12	12	340	147		
	800	735	635	15	20	-		588	90

3.1.4 GH141 板材、带材标准规定的性能见表 3-4。

表3-4

热处理制度	厚度/mm	$\theta/^\circ\text{C}$	拉伸性能			HRC
			$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	
1080 $^\circ\text{C}$ ，保温不小于 2.4min/mm,空冷	0.4~2.9	20	$\leq 1170$	$\leq 690$	$\geq 30$	$\leq 30$
	$\geq 2.9\sim 4.0$	20	$\leq 1240$	$\leq 795$	$\geq 30$	$\leq 30$
固溶处理+760 $^\circ\text{C}$ ， 16h，空冷	$\leq 0.50$	20	$\geq 1105$	$\geq 825$	$\geq 6$	$\geq 35$
		760	$\geq 895$	$\geq 760$	$\geq 3$	-
	$> 0.50$	20	$\geq 1170$	$\geq 895$	$\geq 10$	$\geq 35$
		760	$\geq 965$	$\geq 760$	$\geq 3$	-

#### 四、GH141 组织结构

4.1 GH141 相变温度 合金热处理后，组织中析出相的相变温度范围见表 4-1。

表4-1<sup>[13]</sup>

析出相	$\gamma'$	$\text{M}_6\text{C}$	$\text{M}_{23}\text{C}_6$	MC	$\mu$	$\sigma$
相变温度范围/ $^\circ\text{C}$	$< 1052$	760~1149	760~901/982	796~1149	870~980	760~982/1038

4.2 GH141 时间-温度-组织转变曲线

4.2.1 GH141 铸态试样经 1180 $^\circ\text{C}$ ,6h,水冷淬火后，

再在不同温度保温 1h，析出相数量和温度的关系见图

4-2。

4.2.2 GH141 经 1200 $^\circ\text{C}$ ,2h 固溶处理后，再在 760

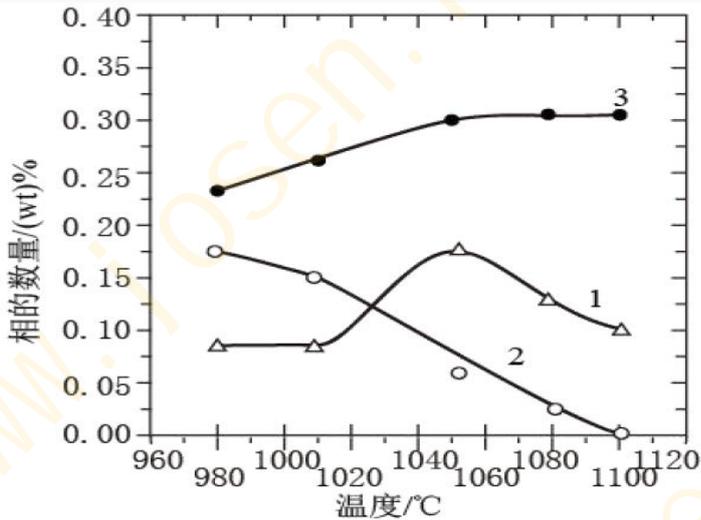
~1200℃时效 2~96h,析出相数量和时效温度的关系

见图 4-2。

#### 4.2.3 GH1415000h 长期时效后，合金中析出相

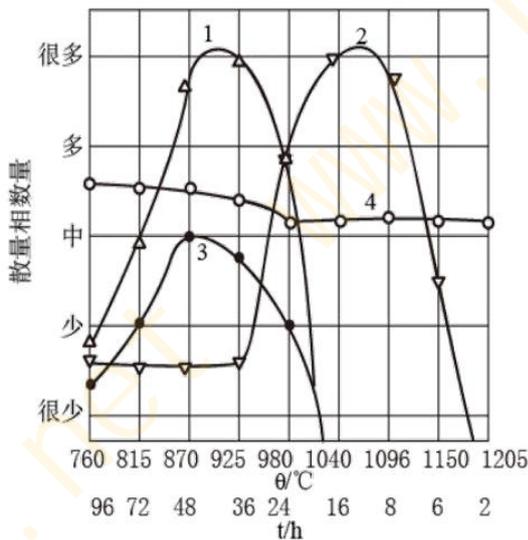
数量的变化见图 4-3。

4.3 GH141 合金组织结构 合金在标准热处理状态的组织除 $\gamma$ 基体外，还存在 $\gamma'$ 、M<sub>6</sub>C、M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>、MC，长期时效后有 $\mu$ 相析出。



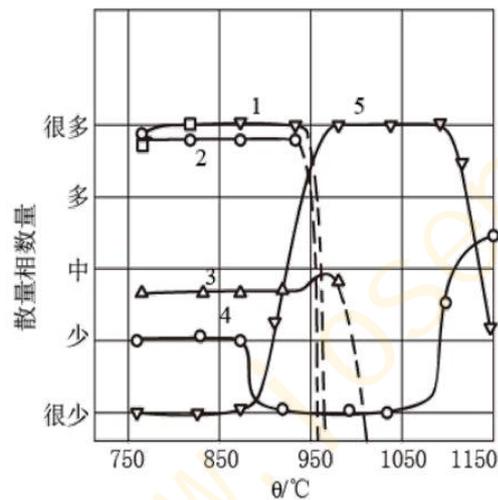
试验条件：1180℃,6h,水淬处理后，经不同加热  
温度保温 1h；1—M<sub>6</sub>C；2—M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>；3—MC

图 4-1 铸态试样析出相数量与温度的关系<sup>[5]</sup>



1— $\mu$ 相；2—M<sub>6</sub>C；3—M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>；4—MC

图 4-2 析出相数量与时效温度的关系<sup>[14]</sup>



1175℃固溶+不同温度时效 5000h

1—M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>；2— $\mu$ 相；3— $\sigma$ 相；4—MC；5—M<sub>6</sub>C

图 4-3 析出相数量与时效温度的关系<sup>[13]</sup>

## 五、GH141 工艺性能与要求

### 5.1 GH141 成形性能

5.1.1 GH141 钢锭锻造前应进行高温均匀化处理，锻造加热温度为 1160~1180℃，终锻温度不低于 1000℃。板坯轧制加热温度为 1140~1160℃，终轧温度不低于 1060℃。薄板轧制加热温度为 1140~1160℃，终轧温度不低于 800℃。

5.1.2 GH141 冷轧薄板固溶状态的反复弯曲和杯突性能见表 5-1。

表5-1<sup>[9]</sup>

品种	热处理制度	反复弯曲次数	杯突深度/mm
δ1.5mm 冷轧薄板	1180℃, 30min, 空冷	12	10.1
	1180℃, 30min, 空冷	20	12.4

5.1.3 GH141 旋压性能 板材在保持细晶和较低的硬度时具有很好的可旋性。根据室温拉伸断面收缩率 $\varphi$ (%)算出减薄率 $\varphi_{\max}(\%)=\varphi(\%)/[0.17+\varphi(\%)]$ ，各种形状减薄率 $\varphi_{\max}(\%)$ 见表 5-2。

表5-2<sup>[15]</sup>

	圆锥形件	半球形件	筒形件	曲母线
$\varphi_{\max}/\%$	40	35	60	35

5.1.4 GH141 热塑性性能

5.1.4.1 GH141d22mm 轧材热顶锻塑性见表 5-3，塑性图见图 5-1。

表5-3<sup>[2]</sup>

试验温度/℃	900	950	970	980	1000	1050	1100	1150	1170	1200
$\varepsilon_{\text{极限 max}}/\%$	14.6	29.3	43	43.8	75.3	81.8	78.2	70	75.5	36
$\varepsilon_{\text{裂纹 min}}/\%$	23.4	44	51	61.5	>75.3	>81.8	80.6	78.3	76	41

5.1.4.2 GH141d22mm 轧材的热模拟塑性试验结果见表 5-4。

5.1.4.3 GH141d90mm 棒材经 1065℃,4h,空冷+760℃,16h,空冷热处理后进行高温拉伸试验，其高温拉伸塑性见表 5-5。

5.1.5 GH141 合金再结晶图

5.1.5.1 GH141 加工再结晶图见图 5-2。

5.1.5.2 GH141 固溶再结晶图见图 5-3。

表5-4<sup>[5]</sup>

类型	$\theta/^\circ\text{C}$	900	950	975	1000	1050	1100	1150	1160	1200
冷却曲线	$\sigma/\text{MPa}$	749	404	-	227	206	156	-	102	-
	$\varphi/\%$	19.9	23.6	55.4	67.4	83.1	81.1	-	53.1	-
加热曲线	$\sigma/\text{MPa}$	739	688	599	484	255	229	191	-	0
	$\varphi/\%$	34.9	49.6	68.3	82.7	91.7	86.4	62.9	-	0

注：1 冷却曲线 以 100℃/s 加热到 1160℃保温处理后，随炉冷却到规定温度再保温 100s，以 100m/s 速度拉断。

2 加热曲线 以 100℃/s 加热到规定温度保温 100s, 以 100m/s 速度拉断。

表5-5<sup>[2]</sup>

试验温度/℃	950	1000	1050	1100	1150	1200
高温拉伸塑性 $\delta$ /%	21.8	31.8	66.6	102	117	108.2

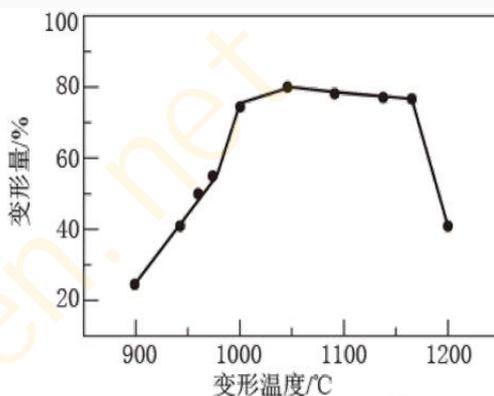


图 5-1 合金塑性图<sup>[2]</sup>

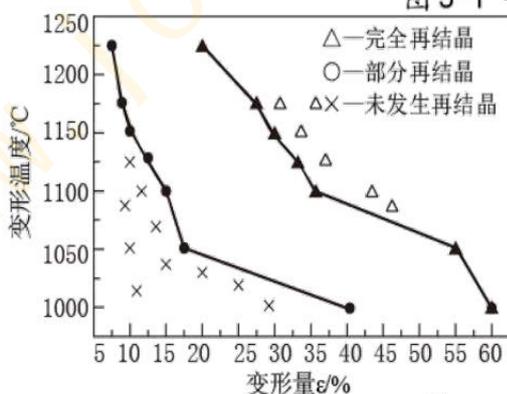


图 5-2 加工再结晶图<sup>[2]</sup>

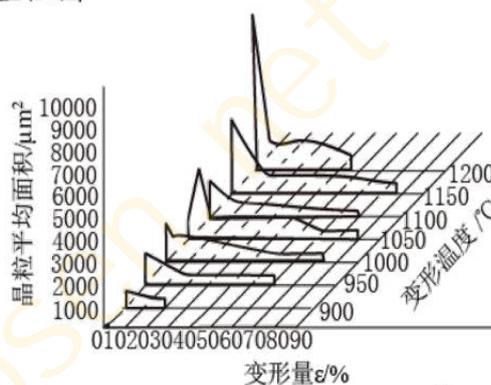


图 5-3 固溶再结晶图<sup>[2]</sup>

## 5.2 GH141 焊接性能

5.2.1 GH141 合金可熔焊、扩散焊、钎焊、摩擦焊。熔焊既可用电子束焊接，也可用氩弧焊焊接。熔焊缝在热处理时有产生应变时效裂纹倾向，为将这种倾向减小，应在焊接前固溶缓慢退火，即 1080℃，随后以 22℃/min 冷却到 650℃；另一办法是在焊接前进行过时效处理，即 1080℃，30min，以 1.7~4.4℃/min 冷却到 980，4h，以 1.7~4.4℃/min 冷却到 870℃，4h，再以 1.7~4.4℃/min 冷却到 760℃，16h，空冷[1,16~19]。焊后在消除焊接应力和恢复性能时，应快速加热通过时效硬化温度区间，这样可消除应变时效开裂倾向。使用细晶、低杂质含量母材，消除机械加工硬化，低的焊接线能量也可以降低应变时效开裂倾向。

## 5.3 GH141 零件热处理工艺

5.3.1 GH141 在较低温度下工作，要求零件具有高的拉伸强度和疲劳性能时，推荐采用 1080℃，空冷+760℃，16h，空冷。

5.3.2 GH141 对在高温下工作，又要求材料具有高的热强性时，适宜的热处理规范为 1180℃，空冷+900℃，4h，空冷。

5.3.3 GH141 对要求焊接的环形件等零部件, 推荐采用 1120℃, 30min, 空冷+900℃, 4h, 空冷。

## ► 镍基变形高温合金

英国牌号: Nimonic80A

中国牌号: GH80A

### 一、Nimonic80A 概述

Nimonic80A 是以镍-铬为基体, 添加铝、钛形成 $\gamma'$ 相弥散强化的高温合金, 除铝含量略高外, 其他与 GH4033 相近, 使用温度 700~800℃, 在 650~850℃具有良好的抗蠕变性能和抗氧化性能。该合金冷、热加工性能良好, 主要供应热轧棒材、冷拉棒材、热轧板材、冷轧板材、带材以及环形件等, 用于制造发动机转子叶片、导向叶片支座、螺栓、叶片锁板等零件。

1.1 Nimonic80A 材料牌号 Nimonic80A。

1.2 Nimonic80A 相近牌号 GH80A(中国)。

1.3 Nimonic80A 材料的技术标准

1.4 Nimonic80A 化学成分 见表 1-1。

表 1-1 %

C		Cr		Ni		Al		Ti		
0.04~0.10		18.0~21.0		余		1.00~1.80		1.8~2.7		
Co	Fe	B	Mn	Si	P	S	Ag	Bi	Cu	Pb
不大于										
2.0	1.50	0.008	0.40	0.80	0.020	0.015	0.0005	0.0001	0.20	0.002

注: B 按计算量加入, 允许加入微量的 Ce、Zr、Mg 元素。

1.5 Nimonic80A 热处理制度 叶片用棒材为: 1080℃±10℃, 8h, 空冷+700℃±5℃, 16h, 空冷。热轧、锻制及冷拉棒材: 按表

1-2 的规定进行。轧制环件: (1050~1080℃)±10℃, 不大于 2h, 水冷+750℃±5℃(或+700℃±5℃), 4h(或 16h), 空冷。热轧

板材、冷轧薄板和带材为：供应状态 + 750°C±10°C，4h，空冷。

表 1-2

材料类型	固溶处理制度	时效制度
热加工用热轧（或锻制）棒材	1080°C±10°C，8h，空冷	700°C±5°C,16h,空冷或 750°C±5°C,4h,空冷
热加工用热轧（或锻制）棒材	按制度①或②进行 ①1080°C±10°C,保温时间按表 1-3 规定，油冷或水冷或空冷。 （正常情况，d≥40mm，油冷） ②1080°C±10°C,保温时间按表 1-3 规定，空冷+1080°C±10°C，保温 30min，水冷	
冷拉棒材	1080°C±10°C,保温时间按表 1-4 规定，水冷或空冷。	

表 1-3

直径/mm	保温时间/h	直径/mm	保温时间/h
≤3	1	>6~12.5	4
>3~6	2	>12.5	8

1.6 Nimonic80A 品种规格与供应状态 供应直径 d20 ~ 55mm 的叶片用热轧棒材、直径不大于 300mm 的热轧或锻制棒材。

冷拉棒材供应直径 8 ~ 45mm 圆棒及内切圆直径 d8 ~ 36mm 的六角形棒材。供应外径 1000mm、内径 900mm、高度 130mm

的轧制形件。供应厚度不大于 9.5mm 的热轧板材、厚度不大于 4.0mm 的冷轧薄板材，厚度不大于 0.8mm 的冷轧带材。叶片

用热轧棒材不经热处理供应，其表面应全部磨光或车光。机加工用热轧棒材经固溶处理并除氧化皮状态供应。锻锻用冷拉棒材

以冷拉并磨光状态供应，机加工用冷拉棒材以冷拉经固溶处理并除氧化皮状态供应，热加工用棒材以制造状态并除氧化皮供应

（对锻造厂用棒材应车光后供应，其表面粗糙度应不小于 3.2μm）。轧制环形件以固溶处理和粗加工状态供应。热轧板材、冷

轧板材和带材经软化处理、碱酸洗、切边和平整或矫直后供应。

1.7 Nimonic80A 熔炼与铸造工艺 叶片用棒材和板材采用真空感应熔炼加电渣重熔工艺。轧制环形件与热轧、锻制及冷拉棒材

采用感应熔炼加电渣重熔，或真空感应熔炼加真空电弧重熔，或真空感应熔炼加电渣重熔工艺。

1.8 Nimonic80A 应用概况与特殊要求 该合金主要用作发动机转子叶片、导向叶片支座、扇形件安装环、螺栓、叶片锁板等零件。

## 二、Nimonic80A 物理及化学性能

### 2.1 Nimonic80A 热性能

2.1.1 Nimonic80A 熔化温度范围 熔点 1405°C[1]。

2.1.2 Nimonic80A 热导率 见表 2-1。

表 2-1[1]

$\theta / ^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\lambda / (\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C}))$	12.11	13.83	15.48	16.75	18.39	20.93	23.48	25.57	27.66

2.1.3 Nimonic80A 线膨胀系数 见表 2-2。

2.2 Nimonic80A 密度  $\rho=8.15\text{g}/\text{cm}^3$ [2]。

表 2-2[2]

$\theta / ^\circ\text{C}$	16~100	16~200	16~300	16~400	16~500	16~600	16~700
$\alpha / 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$	12.18	12.86	13.69	14.08	14.50	14.94	15.36

2.3 Nimonic80A 电性能 室温 $\rho=1.23\times 10^{-6}\Omega\cdot\text{m}$ [1]。

2.4 Nimonic80A 磁性能 无磁性。

### 2.5 Nimonic80A 化学性能

2.5.1 Nimonic80A 抗氧化性能 在空气介质中试验 100h 的氧化速率见表 2-3。

表 2-3[3]

$\theta / ^\circ\text{C}$	700	750	800
氧化速率/ $(\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h}))$	0.037	0.041	0.047

### 三、Nimonic80A 力学性能

Nimonic80A 涡轮叶片用棒材规定性能见表 3-1。

表 3-1

技术标准	试样串联对数	持久性能				
		$\theta/^\circ\text{C}$	$\sigma/\text{MPa}$	断裂时间/h		
				单个值	平均值	范围值(Rmax)=(F)·( )
WS9-7009-1996	3	750	340	$\geq 23$	$\geq 32$	$\leq 0.6 \times \text{实际平均值}$

### 四、Nimonic80A 组织结构

#### 4.1 Nimonic80A 相变温度

#### 4.2 Nimonic80A 时间-温度-组织转变曲线

4.3 Nimonic80A 合金组织结构 叶片毛坯按不同热处理规范处理的组织特征：1080°C±10°C,8h,空冷处理：在 1080°C 时基体中的  $\gamma'$  相和一些 M7C3 及 M23C6 型晶界碳化物溶入固溶体。在冷却过程中晶界形成 M7C3 和 M23C6 型富铬碳化物。M7C3 大约在 1000°C 以上沉淀出来，并在较低温度下转变为 M23C6。M23C6 在 750~1000°C 析出，也能独立成核，生成晶界碳化物。所以在 1080°C±10°C,8h,空冷处理后，晶界上呈现出不连续状态的 M7C3 和 M23C6，晶内有  $\gamma'$  相和 MC。

1080°C±10°C,8h,空冷 + 700°C±5°C,16h,空冷处理：合金在固溶组织的基础上经 700°C±5°C,16h 时效，晶界上的 M7C3 继续转变为 M23C6，所以在晶界上沉淀出叫连续的 M23C6，晶内的  $\gamma'$  相也长大成球形质点[4]。

### 五、Nimonic80A 工艺性能与要求

#### 5.1 Nimonic80A 成形性能

5.1.1 Nimonic80A 锻造 合金具有良好的锻造性能。钢锭加热温度 1120~1150°C，开锻温度不低于 1000°C。停锻温度不低于 950°C[2]。

5.1.2 Nimonic80A 热轧板 轧制加热温度 1120~1150°C，停轧温度不低于 930°C[2]。

5.1.3 Nimonic80A 涡轮叶片的锻造 涡轮叶片用毛坯应按规定的工序要求喷涂防护润滑剂，待烘干后方可入炉加热。零件毛坯在电炉中加热，装炉温度 800°C±20°C，保温 60min，加热温度 1090°C±10°C，保温 35min，开锻温度 1090°C，停锻温度 950°C，在卧锻机上顶锻，锻前用二硫化钼润滑模膛。零件毛坯锻造中间工序应进行固溶处理，加热温度 1130°C±10°C，保温

60min, 空冷。吹砂后, 再按规定的工序要求喷涂防护润滑剂, 烘干后入炉加热。零件毛坯再按上述规定进行装炉、加热、保温, 并在曲柄压力机上进行终锻, 锻前用二硫化钼润滑模膛。

5.2 Nimonic80A 焊接性能 合金可以进行自动对接氩弧焊和缝焊。

5.2.1 Nimonic80A 不加焊丝的自动钨极氩弧焊(对接)规范见表 5-1。

表 5-1[2]

厚度/mm	焊前状态	电流/A	电压/V	焊速/(m/min)	垫板		气体流量/(L/min)	背面气体流量/(L/min)	钨极直径/mm	焊嘴直径/mm
					槽宽	槽深				
1.2	软态	55	10~12	0.21	4.57	1.5	10~15	5~6	2~4	10~14

注: 焊前用砂布打磨试样并用丙酮清洗, 厚度不大于 1.2mm 板材不加充焊丝, 一次焊接成形。

5.2.2 Nimonic80A 缝焊规范见表 5-2。

表 5-1[2]

厚度/mm	焊前状态	滚盘宽/mm		功率级	电压/V	脉冲格	休止格	热量格	焊接速度/(m/min)	电极压力/N
		上	下							
1.2	软态	5.5	6.5	3	390	15	15	5~8	0.15	8728

5.2.3 Nimonic80A 焊接接头的力学性能见表 5-3。

表 5-3[2]

焊接方法	接头方式	厚度/mm	焊前状态	焊后状态	接头强度		强度系数/%
					$\theta/^\circ\text{C}$	$\sigma_b/\text{MPa}$	
自动氩弧焊	对接	1.2	软态	1080 $^\circ\text{C}\pm 10^\circ\text{C}$ , 8h, 空冷+7	20	1138~1236	100
缝焊	搭接	1.2	软态	50 $^\circ\text{C}\pm 5^\circ\text{C}$ , 4h, 空冷	20	950~1080	85

注: 本表数据时两批板材, 每批 2 个试样的拉伸试验数据处理结果。

5.3 Nimonic80A 零件热处理工艺 零件的热处理工艺按相应的材料技术标准的热处理制度进行。对于板材、带材的冲压成形件,

在每成形一次后需进行中间真空退火, 1060°C±10°C,10min,氩气风扇冷却, 零件的热处理是在真空炉中进行时效处理, 750°C±10°C,4h,氩气风扇冷却。对于叶片在固溶后(时效前)制造过程中产生的局部加工硬化应按规定的要求进行氩气或氢气保护表面退火, 退火温度 1070~1090°C。

#### 5.4 Nimonic80A 表面处理工艺

5.5 Nimonic80A 切削加工与磨削性能 Nimonic80A 具有良好的机加工性能, 完全热处理状态具有好的机加工性能。

**表 1-4**

直径或较小截面尺寸/mm	保温时间/min	直径或较小截面尺寸/mm	保温时间/min
≤15	15~30	>15~25	30~45

## ► 镍基变形高温合金

英国牌号: Nimonic90

中国牌号: GH90

### 一、Nimonic90 概述

Nimonic90 为时效强化型镍基变形高温合金, 含有较高量的钴及多种强化元素。该合金在 815~870°C 有较高的抗拉强度和抗蠕变能力、良好的抗氧化性和耐腐蚀性、在冷热反复交替作用下有较高的疲劳强度以及良好的成形性和焊接性。主要供应热轧和冷拉棒材、冷轧板材、带材及冷拉丝材。用于涡轮发动机涡轮盘、叶片、高温紧固件、卡箍、密封圈及弹性元件等。

1.1 Nimonic90 材料牌号 Nimonic90。

1.2 Nimonic90 相近牌号 GH90(中国)。

1.3 Nimonic90 材料的技术标准

1.4 Nimonic90 化学成分 见表 1-1。

**表 1-1%**

C	Cr	Ni	Co	Al	Ti	Mn	Si	P	S	Ag	Pb	Bi	B	Cu	Fe	Zr
不大于																

≤0.13	18.0~ 21.0	余量	15.0~ 21.0	1.0~ 2.0	2.0~ 3.0	0.4	0.8	0.020	0.015	0.0005	0.0020	0.0001	0.020	0.2	1.5	0.15
-------	---------------	----	---------------	-------------	-------------	-----	-----	-------	-------	--------	--------	--------	-------	-----	-----	------

注：丝材规定 $\omega(\text{pb}) \leq 0.0010\%$ 。

## 1.5 Nimonic90 热处理制度

1.5.1 Nimonic90 冷拉棒材：1080°C±10°C,保温时间见表 1-2，空冷或水冷+750°C±10°C,4h,空冷。

表 1-2

直径或较小截面尺寸/mm	≤3	>3~6	>6~12.5	>12.5~25
t/h	1	2	4	8

1.5.2 Nimonic90 薄板和带材（软态）：软化处理 1100~1150°C，1~10min，适当介质中冷却+750°C±10°C,4h,空冷。

1.5.3 Nimonic90 薄板和带材（硬态）：700~725°C,4h,空冷。

1.5.4 Nimonic90 弹簧用冷拉丝材：600°C±10°C，16h，空冷或 650°C±10°C，4h，空冷。

1.5.5 Nimonic90 冷拉和固溶处理的弹簧丝材：1080°C±10°C,8h,空冷+700~750°C，4h，空冷。

1.6 Nimonic90 品种规格与供应状态 供应直径或内切圆直径不大于 25mm 的冷拉棒材或冷拉六角棒材；厚度不大于 4mm 的冷轧薄板和厚度不大于 0.8mm 的冷轧带材；直径不大于 8mm 的弹簧用冷拉丝材。冷拉棒材的供应状态按用途分为：锻锻用棒以冷拉磨光状态交货（当需方需求以固溶状态交货时，应在合同中注明）；机加工用棒材经固溶并除氧化皮状态交货。冷轧薄板和带材（软态）经软化处理、碱酸洗、切边后交货；冷轧薄板和带材（硬态）以冷轧、切边后交货。弹簧用丝材以冷拉状态或冷拉后固溶处理状态交货。

1.7 Nimonic90 熔炼与铸造工艺 合金采用下列四种工艺之一进行熔炼：(1)感应熔炼加电渣重熔；(2)真空感应熔炼加电渣重熔；(3)真空感应熔炼加真空电弧重熔；(4)真空感应熔炼。

1.8 Nimonic90 应用概况与特殊要求 该合金在发动机上用作高温弹簧元件、高温紧固件、燃烧室卡圈、止动销等零部件。在国外还用作涡轮工作叶片、涡轮盘等零部件。

## 二、Nimonic90 物理及化学性能

### 2.1 Nimonic90 热性能

2.1.1 Nimonic90 熔化温度范围 熔点 1400°C[1]。

2.1.2 Nimonic90 热导率 见表 2-1。

表 2-1[1]

$\theta/^\circ\text{C}$	600	700	800
$\lambda/(\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C}))$	21.76	23.93	25.57

2.1.3 Nimonic90 线膨胀系数 见表 2-2。

表 2-2[2]

$\theta/^\circ\text{C}$	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	20~800	20~900
$\alpha/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	12.71	13.09	13.51	14.04	14.52	15.03	15.58	16.36	17.38

2.2 Nimonic90 密度  $\rho=8.20\text{g}/\text{cm}^3$ 。

2.3 Nimonic90 电性能

2.4 Nimonic90 磁性能 合金无磁性。

2.5 Nimonic90 化学性能 合金在  $1040^\circ\text{C}$ 以下具有良好的抗氧化性和耐腐蚀性能；在  $1040^\circ\text{C}$ 以上时易产生晶间氧化。

### 三、Nimonic90 力学性能

3.1 Nimonic90 技术标准规定的性能

3.1.1 Nimonic90 冷拉棒材技术标准规定的性能见表 3-1。

表 3-1

技术标准	$\theta/^\circ\text{C}$	拉伸性能			持久性能	
		$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	$\sigma/\text{MPa}$	t/h
		不小于				
WS9 7016-1996	650	820	590	8	-	-
	870	-	-	-	140	$\geq 30$

注：固溶状态供应的棒材，力学性能试样只进行时效处理。

3.1.2 Nimonic90 冷轧薄板和带材（软态）技术标准规定的性能见表 3-2。

表 3-2

技术标准	$\theta/^\circ\text{C}$	成品厚度/mm	拉伸性能			硬度 HV	持久性能	
			$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$		$\sigma/\text{MPa}$	t/h
WS9 7087-1996	室温	0.25~0.35	1080	695	15	$\geq 280$	-	-
		>0.35~0.45	1080	695	20			
		>0.45	1080	695	25			
	870	所有	-	-	-	-	140	$\geq 30$

注：持久试验的试样热处理制度：供应状态 + 1080°C $\pm$ 10°C,8h,空冷 + 700°C $\pm$ 10°C,16h,空冷。

3.1.3 Nimonic90 冷轧薄板和带材（硬态）技术标准规定的性能见表 3-3。

表 3-3

技术标准	$\theta/^\circ\text{C}$	拉伸性能	
		$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$
WS9 7086-1996	室温	1390~1620	$\geq 1030$

3.1.4 Nimonic90 弹簧用丝材技术标准规定的性能见表 3-4。

表 3-4

技术标准	$\theta/^\circ\text{C}$	成品厚度/mm	拉伸性能			持久性能	
			$\sigma_b/\text{MPa}$	$\sigma_{P0.2}/\text{MPa}$	$\delta_5/\%$	$\sigma/\text{MPa}$	t/h
WS9 7014-1996	室温	$\leq 1.0$	1540	-	-	-	-
		>1.0~5.0	1390	1160	-		
		不小于					

		>5.0~8.0	1310	1000	10	-	-
	870	坯料	-	-	-	140	≥30
WS9 7015.1-1996	室温	>0.44~0.99	1080	-	15	-	-
		>0.99~8.0	1080	-	15	-	-
	870	坯料	-	-	-	140	≥30

注：进行持久试验的坯料热处理制度：1080°C±10°C,8h,空冷 + 700°C±10°C,16h,空冷。

### 3.1.5 Nimonic90 生产检验数据

3.1.5.1 Nimonic90 冷拉棒材 650°C拉伸性能的统计处理结果见表 3-5。

表 3-5

技术标准	冶炼工艺	650°C拉伸性能		
		$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{P0.2}$ /MPa	$\delta_{50mm}$ /%
		WS9 7016-1996	真空感应加电渣	975

3.1.5.2 Nimonic90 弹簧用丝材室温拉伸性能的统计处理结果见表 3-6。

表 3-6

技术标准	冶炼工艺	丝材直径/mm	室温拉伸性能		
			$\sigma_b$ /MPa	$\sigma_{P0.2}$ /MPa	$\delta_{50mm}$ /%
			WS9 7014-1996	真空感应熔炼	≤1.0
>1.0~5.0	1515	1260	-		
WS9 7015.1-1996		>0.99~8.0	1180	690	27

## 四、Nimonic90 组织结构

### 4.1 Nimonic90 相变温度

### 4.2 Nimonic90 时间-温度-组织转变曲线

4.3 Nimonic90 合金组织结构 合金的主要强化相是 $\gamma'$ -Ni<sub>3</sub>(Al、Ti)，在晶内以大小不同的方形颗粒状析出，在晶界上也可见到这种形状的 $\gamma'$ 相。碳化物在晶界上呈不连续的链状析出[2]。

## 五、Nimonic90 工艺性能与要求

5.1 Nimonic90 成形性能 合金在锻造时易产生内裂，不允许重锤打击，不允许低温倒棱。钢锭装炉温度不高于 700℃，加热温度 1150℃±10℃，开锻温度不低于 1060℃，终锻温度不低于 950℃。轧制加热温度 1160℃，终轧温度不低于 950℃。冷拔材在中间退火后应进行 8%~12%的冷变形。

5.2 Nimonic90 焊接性能 合金在固溶状态可进行惰性气体保护钨极电弧焊及闪光对焊。

5.3 Nimonic90 零件热处理工艺 零件的热处理工艺按相应的材料技术标准的热处理制度进行。

### 5.4 Nimonic90 表面处理工艺

5.5 Nimonic90 切削加工与磨削性能 Nimonic90 在固溶处理状态有良好的机械加工性能，在时效处理后使用坚硬刀具按规定进刀量慢速加工。

## ► GH4145 (GH145)

### 一、概述

GH4145 合金主要是以 $\gamma''$ [Ni<sub>3</sub>(Al、Ti、Nb)]相进行时效强化的镍基高温合金，在 980℃以下具有良好的耐腐蚀和抗氧化性能，800℃以下具有较高的强度，540℃以下具有较好的耐松弛性能，同时还具有良好的成形性能和焊接性能。该合金主要用于制造航空发动机在 800℃以下工作并要求强度较高的耐松弛的平面弹簧和螺旋弹簧。还可用于制造气轮机涡轮叶片等零件。可供应的品种有板材、带材、棒材、锻件、环形件、丝材和管材。[1]

#### 1.1、材料牌号 GH4145 (GH145)

#### 1.2、相近牌号

Inconel X-750(美国), NiCr15Fe7TiAl(德国), NC15FeTNbA(法国), NCF750 (日本)

### 1.3、材料的技术标准

Q/3B 4088-1994 《GH4145 合金毛细管材》

Q/3B 4098-1995 《GH4145 合金丝材》

Q/3B 4198-1993 《GH4145 合金冷轧板材、带材》

### 1.4、化学成分

表 1-1

C	Cr	Ni+Co	Al	Ti	Fe	Nb+Ta	Co	Mn	Si	S	Cu	P
≤0.08	14.0~17.0	≥70.0	0.40~1.00	2.25~2.75	5.00~9.00	0.70~1.20	≤1.00	≤1.00	≤0.50	≤0.010	≤0.50	≤0.015

注：表中 Mn、Si 为棒、锻件、环形件和丝材含量，板材、带材和管材为：Mn≤0.35%,Si≤0.35%。

### 1.5、热处理制度

板、带、管材供应状态的固溶热处理制度 980°C±15°C，空冷。材料及零件的中间热处理制度，可分别选择下列工艺进行热处理。

退火：955~1010°C，水冷。

焊接件焊接前退火：980°C，1h。

焊接件消除应力退火：900°C,保温 2h。

消除应力退火：885°C±15°C，24h,空冷。

### 1.6、品种规格与供应状态

可以供应各种规格的棒材、锻件、环形件、热轧板、冷轧板、带材、管材和丝材。

板材和带材一般于热轧或冷轧、退火或固溶、酸洗抛光后供应。

棒材、锻件和环形件可于锻态或热轧状态供应；也可于锻后固溶处理供应；棒材可于固溶后磨光或车光供应，当订单有要求时，可于冷拉状态就位。

丝材可于固溶状态供应；对于标称直径或厚度在 6.35mm 以下的丝材，可固溶后并以 50%~65%的冷拉变形供应；标称直径或边长大于 6.35mm 的丝材，固溶处理后以不小于 30%的冷拉变形供应。对于标称直径或边长不大于 0.65mm 的丝材，根据要求固溶处理后以不小于 15%的冷拉变形供应。[1]

## 1.7、熔炼与铸造工艺

合金采用电弧炉加真空自耗重熔、真空感应加电渣、电渣加真空自耗重熔或真空感应加真空自耗重熔。

## 1.8、应用概况与特殊要求

该合金主要用于制造航空发动机工作温度在 540°C 以下的耐腐蚀的平面波形弹簧、周向螺旋弹簧、螺旋压簧、弹簧卡圈和密封圈等零件。

## 二、物理及化学性能

### 2.1、热性能

#### 2.1.1、熔化温度范围

1395 ~ 1425°C

#### 2.1.2、热导率

见表 2-1

$\theta/^\circ\text{C}$	50	100	300	500	900
$\lambda \text{ (W/(m}\cdot\text{C))}$	14.7	15.9	20.1	25.1	37.3

#### 2.1.3、GH4145(GH145)线膨胀系数 见表 2-2

$\theta/^\circ\text{C}$	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	20~800
$\alpha/10^{-6}\text{C}^{-1}$	13.1	13.5	14.1	14.4	15.0	15.6	16.2

### 2.2、密度

$\rho=8.25\text{g/cm}^3$

### 2.3、电性能

50°C 时的电阻率  $\rho=1.22 \times 10^{-6}\Omega\cdot\text{m}$

## 3、金相组织结构

合金标准热处理状态的组织由  $\gamma$  基体、Ti(C、N)、Nb(C、N)、M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> 碳化物和  $\gamma'$  [Ni<sub>3</sub>(Al、Ti、Nb)] 相组成,  $\gamma'$  含量大约为 14.5%, 是合金的主要强化相。

## 4、工艺性能与要求

- 1、合金的锻造温度在 1220 ~ 950°C 之间均易成形。该合金在剧烈成形工序后就进行固溶处理。
- 2、该合金的晶粒度平均尺寸与锻件的变形程度、终锻温度密切相关。
- 3、合金具有较好的焊接性能，可进行各种焊接。焊接后进行时效处理可获得近似完全热处理状态的强度。
- 4、零件热处理就在无硫的中性或还原性气氛中进行，以免发生硫化。

## ► GH2132

### 1、概述

1、品种规格与状态 可以供应各种规格的棒材、板材、丝材、盘件和环件。棒材、圆饼和环坯不经热处理；热轧板和冷轧板固溶+酸洗；冷拉棒材固溶+酸洗状态；冷镦丝可于固溶+酸洗盘状、或固溶+酸洗直条状、或固溶直条关磨光和冷拉等几种状态；冷拉焊丝于冷拉状态、或固溶+酸洗、或半硬态。

1、溶炼与铸造工艺 合金可采用非真空感应+电渣，电弧炉+电渣和电弧炉+真空电弧以及真空感应+真空电弧等工艺溶炼。

1、应用概况与特殊要求 在航空上主要用于在 650°C 以下工作的发动机压气机盘、涡轮盘、承力环、机匣、轴类、紧固件、和板材焊接承力件等。在国内该合金已在航空上获得较为广泛的应用。

#### 1.1、材料牌号

GH2132

#### 1.2、材料相近牌号

A-286 P.Q.A286 UNSS66286(美国)、ZbNCT25(法国)、GH2132(GH132)中国

#### 1.3、材料的技术标准

- 1、 GJB 2611-1996 《航空用高温合金冷拉棒材规范》
- 2、 GJB 2612-1996 《焊接用高温合金冷拉丝材规范》
- 3、 GJB 3020-1997 《航空用高温合金环坯规范》
- 4、 GJB 3165-1998 《航空承力件用高温合金热轧和锻制棒材规范》
- 5、 GJB 3167-1998 《冷镦用高温合金冷拉丝材规范》

- 6、 GJB 3317-1998 《航空用高温合金热轧板规范》
- 7、 GJB 3782-1999 《航空用高温合锻制圆饼规范》
- 8、 GB/T 14992-2005 《高温合金牌号标准》
- 9、 GB/T14993-1994 《转动部件用高温合金热轧棒材》
- 10、 GB/T14994-1994 《高温合金冷拉棒材》
- 11、 GB/T14995-1994 《高温合金热轧板》
- 12、 GB/T14996-1994 《高温合金冷轧薄板》
- 13、 GB/T14996-1994 《高温合金冷轧薄板》
- 14、 GB/T14997-1994 《高温合金锻制圆饼》
- 15、 GB/T14998-1994 《高温合金坯件毛坯》
- 16、 GB/T15062-1994 《一般用途高温合金管》

## 2、物理及化学性能

### 2.1、热性能

2.1.1、溶化温度范围 1364~1424℃

2.1.2、热导率 表 2-1

$\theta/^\circ\text{C}$	100	200	300	400	500	600	700	800	900
$\lambda/(\text{W}/(\text{m}\cdot\text{C}))$	14.2	15.9	17.2	18.8	20.5	22.2	23.9	25.5	27.6

2.1.3、线膨胀系数 线膨胀系数见表 2-2。

表 2-2

$\theta/^\circ\text{C}$	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	20~800	20~900
$a/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	15.37	16.09	16.31	16.84	17.58	18.06	18.74	19.62	20.45

优质合金线膨胀系数见表 2-3 表 2-3

$\theta/^\circ\text{C}$	20~100	20~200	20~300	20~400	20~500	20~600	20~700	20~800	20~900
$\alpha/10^{-6}^\circ\text{C}^{-1}$	15.7	16.0	16.5	16.8	17.3	17.5	17.9	19.1	19.7

## 2.2、密度

$$\rho=7.93\text{g/cm}^3$$

## 2.3、电性能

电阻率见表 2-4。

$\theta/^\circ\text{C}$	20	100	200	300	400
$\rho/(10^{-6} \Omega\cdot\text{M})$	0.914	0.985	1.018	1.074	1.119

表 2-4 续

$\theta/^\circ\text{C}$	500	600	700	800	900
$\rho/(10^{-6} \Omega\cdot\text{M})$	1.135	1.	1.018	1.074	1.119

## 2.4、磁性能

## 2.5、化学性能

2.5.1、抗氧化性能 合金在空气介质中试验 100~300h 后氧化速率表 2-5。 表 2-5

$\theta/^\circ\text{C}$	氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))	氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))	氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))	$\theta/^\circ\text{C}$	氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))	氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))	氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> ·h))
	100h	200h	300h		100h	200h	300h
650	0.00417	0.00276	0.00234	850	0.11630	0.12386	0.09672
750	0.03250	0.07216	0.08322	---	---	---	---

## 3、金相组织结构

合金在标准热处理状态下，在 $\gamma$ 基体上有球状均匀弥散的  $\text{Ni}_3(\text{Ti},\text{Al})$  型 $\gamma'$ 相以及  $\text{TiN},\text{TiC}$ ，晶界有微量的  $\text{M}_3\text{B}_2$ ，晶界附近可能有少量 $\eta$ 相和 L 相

#### 4、工艺性能与要求

- 1、该合金具有良好的可锻性能，锻造加热温度 1140℃，终锻 900℃。
- 2、该合金的晶粒度平均尺寸与锻件的变形程度、终锻温度密切相关。
- 3、合金具有满意的焊接性能。合金于固溶状态进行焊接，焊后进行时效处理。

### ► GH1140 (GH140, CR-2)

#### 1、概述

GH1140 是一种固溶强化的铁镍基高温合金，除含大量铬外，并用少量钨、钼、铝和钛等元素复合强化固溶体。合金具有中等的热强性、高的塑性、良好的热疲劳、组织稳定性和焊接工艺性能。适宜于制造工作温度 850℃以下的航空发动机和燃气轮机燃烧室的板材结构件和其他高温部件。可以供应板、棒、管、丝、带材及锻件等各种变形产品。

#### 1.1、材料牌号

GH1140 (GH140, CR-2)

#### 1.2、相近牌号

#### 1.3、材料的技术标准

1. GJB 1952-1994 《航空用高温合金冷轧薄板规范》
2. GJB 2297-1995 《航空用高温合金冷拔（轧）无缝管规范》
3. GJB 2612-1996 《航空用高温合金冷拉丝材规范》
4. GJB 3020-1997 《航空用高温合金环坯规范》
5. GJB 3317-1998 《航空用高温合金热轧板规范》
6. GJB 3318-1998 《航空用高温合金冷轧带材规范》
7. GJB 3165-1998 《航空承力件用高温合金热轧和锻制棒材规范》
8. GJB 3167-1998 《冷锻用高温合金冷拉丝材规范》

## 9、GB/T 15062-1994 《一般用高温合金管》

### 1.5、热处理制度

固溶处理: 热轧板、冷轧薄板和带材 1050 ~ 1090°C, 空冷; 丝材和管材 1050 ~ 1080°C, 空冷或水冷; 棒材和环坯 1080°C ±10°C, 空冷。

### 1.6、品种规格与供应状态

可供应各种规格的热轧板、冷轧板、带材、棒材、丝材、管材、锻件和环形件。板、管、丝、带经固溶处理和酸洗后供应。棒材和环形件于热轧或锻造状态供应。锻件于锻造状态或经固溶处理后供应。

### 1.7、熔炼与铸造工艺

电弧炉熔炼或电弧炉+电渣重熔。

### 1.8、应用概况与特殊要求

已用于制造多种航空发动机的燃烧室火焰筒、加力扩散器、整流支板、稳定器、输油圈、加力可调喷口壳体、管接头、衬套以及飞机机尾罩蒙皮等零部件, 投入成批生产使用。在 550 ~ 800°C 温度范围内长期使用后稍有硬化现象, 使室温塑性下降。在 1000°C 以上的高温抗氧化性比同类用途的镍基合金稍差。

## 2、物理及化学性能

### 2.1、热性能

### 2.2、密度

$\rho=8.09\text{g/cm}^3$

### 2.3、电性能

室温电阻率  $\rho=1.07 \times 10^{-6}\Omega \cdot \text{m}$

### 2.4、磁性能

合金无磁性。

### 2.5、化学性能

#### 2.5.1、抗氧化性能

2.5.1.1、合金在空气介质中试验 100h 的氧化速率见表 2-1。

$\theta/^\circ\text{C}$	700	800	900	1000	1100
氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> .h))	0.014	0.028	0.139	0.270	0.523

2.5.1.2、合金在 700°C 以上长期工作时产生沿晶界氧化。在 700°C ~ 1200°C 暴露 100h 后的晶界氧化深度。在 700 ~ 900°C 长期暴露 1000h 内的晶界氧化深度。

2.5.1.3、该合金制造的火焰筒在高于 900°C 长期工作时，可能产生氧化剥落；氧化剥落的速度为 0.016mm/100h。火焰筒中间段，长期工作后的氧化剥落深度 表 2-2

合金	氧化剥落深度/mm	氧化剥落深度/mm
	200h	800h
GH1140	0.032	0.127
GH3039		0.115

2.5.1.4、合金在高温下长期工作时可采用 65、66-4、W-2 和 W69-1 珐琅涂层进行有效的保护，也可采用固体渗铝和真空喷镀铝涂层。合金基体和采用涂层后的抗氧化性对比见表 2-3。

材料牌号	100h 氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> .h))	100h 氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> .h))	100h 沿晶氧化深度/ $\mu\text{m}$	100h 沿晶氧化深度/ $\mu\text{m}$
	900°C	1000°C	900°C	1000°C
GH1140	0.162	0.236	10~20	26~30
GH1140+65 涂层	0.055	0.081	11~15	30
GH1140+66-4 涂层	0.047	0.071	11~15	30

材料牌号	100h 氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> .h))	100h 氧化速率/(g/(m <sup>2</sup> .h))	100h 沿晶氧化深度/ $\mu\text{m}$	100h 沿晶氧化深度/ $\mu\text{m}$
	900°C	1000°C	900°C	1000°C
GH1140+W2 涂层	---	0.076	---	---
GH1140+固体渗铝	---	0.030	---	---
GH1140+真空喷镀铝	---	0.027	---	---

2.5.2、耐腐蚀性能 国产航空煤油无论有无 CS<sub>2</sub> 添加剂，对 GH1140 合金均无腐蚀作用，而对镍基合金，必须有添加剂才能防止腐蚀。若用国外航空煤油，有时也发现在严重的坑蚀。

### 3、工艺性能与要求

### 3.1、热成型工艺

3.1.1、锻造时装炉温度 $\leq 700^{\circ}\text{C}$ ，加热温度  $1160^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，终端温度不低于  $900^{\circ}\text{C}$ 。

3.1.2、板坯热轧加热温度

$1160^{\circ}\text{C}\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，轧制温度  $1180\sim 950^{\circ}\text{C}$ ，进最后一个孔型时温度控制在  $950\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 范围内。

3.1.3、热轧板荒轧加热

温度  $1120^{\circ}\text{C}$ ，荒轧温度  $1120\sim 850^{\circ}\text{C}$ ，热轧板一火轧成，总变形量要大于 50%。

3.1.4、冷轧板轧压下量为 30%~40%，

成品板平整变形量不得大于 3%。

### 3.2 、冷成型性能

3.2.1、板材的状态具有良好的塑性，成形工序在室温下进行。当以多次成形工艺制造零件时，每次冷成型后均进行中间，

热处理。成型前零件表面涂以硝基清漆。

整理：[常州精密钢管博客网](http://www.josen.net)

加入“常州精密钢管博客官方知识星球”即可免费下载所有的专业技术文档！

**常州精密钢管博客** 知识星球

专业的 钢铁知识 钢管知识 热处理知识 钢铁行业资讯 分享网站

官方网站：<http://www.josen.net>

微信扫码加入星球

 知识星球



[www.josen.net](http://www.josen.net)  
机密