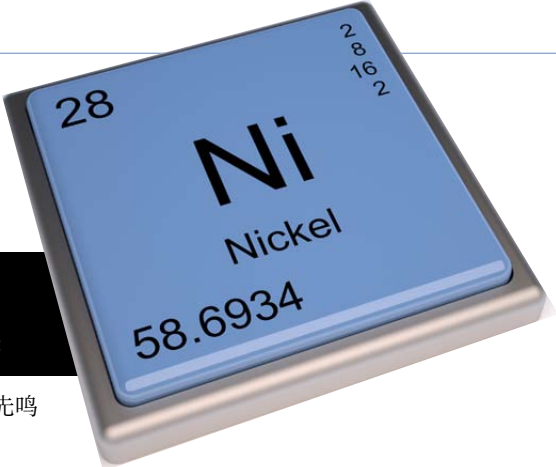


GH4080A镍合金 紧固件加工及热处理



文/ 赵萍丽、张先鸣

◆ 引言 ◆

镍合金高温合金是一种能够在600℃以上及一定应力条件下长期工作的金属材料,具有优异的高温强度、良好的抗氧化和抗热腐蚀性能、良好的疲劳性能、断裂韧性等综合性能。

镍合金所具有的耐高温、耐腐蚀等性能主要取决于它的化学组成和组织结构;材料成分十分复杂,含有铬、镍、铝等活泼元素,在氧化或热腐蚀环境中表现为化学稳定性强,这些特点决定了它区别于普通金属材料的加工工艺[1]。

镍合金的发展是合金理论与生产工艺技术不断改善和革新的过程。通过合金强化+工艺强化来不断结合提高合金的材料性能。合金强化包括合金固溶强化、第二相强化和晶界强化等。工艺强化包括精细冶炼、凝固结晶、热加工、热处理及表面处理等环节改善合金组织结构等[2]。

GB/T14994标准中的GH4080A(参照执行 DIN EN 10269标准)镍合金以Ni基含量≥65%,18%~21%Cr形成铬镍奥氏体基体高温合金, GH4080A原材料化学成分见表1。主要应用于汽车高温工作服役区域高温紧固件,如涡轮增压器连接部位等。该区域服役的零部件及总成承担着汽车驱动动力的能量产生与转变、动能输出、燃料输送和高温排放气体的高速流动及回圈。镍基高温紧固件规格在M6~M12螺栓、螺柱及螺母。高温持久拉伸要求:1、按照标准ASME SB637必须满足,试样在760℃下,应力325MPa下,保持23小时试样不允许出现断裂,然后采用逐渐增加应力的方式拉断试样,4D断后伸长率不小于3.5%。2、按照标准GB/T14994需满足,试样在750℃下,应力340MPa下,保持30小时试样不允许出现断裂。高温合金材料制备技术与工艺仍处于不断的进步和创新中,为此,设计完整的紧固件加工工艺及热处理制度就很有必要。

1、紧固件的加工工艺

螺栓类产品加工工艺:原材料→固溶→下料→冷镦→车加工→滚搓牙→热处理(时效)→表面处理。

螺母类产品加工工艺:原材料→固溶→下料→冷镦→攻牙→热处理(时效)→冲压→表面处理。

螺纹配合精度等级6g6H,大径及小径尺寸实际公差值都控制在±0.02mm,螺栓杆部及外圆尺寸公差一般在±0.03mm,从加工尺寸分析,对镍基合金此类产品公差控制的特别严,外圆几乎无划痕、碰伤或加工纹路缺陷,热处理后螺纹加工工艺中,在牙侧、牙底部分不允许存在折迭裂纹,且完全避免螺栓杆部弯曲、变形、应力集中等此类品质问题[3]。

当今加工螺纹的工艺主要有金属切削法(如车、铣、磨削等)和塑性成型法(如滚压、挤压等),而滚压螺纹为镍合金螺栓在成型过程中关键技术。滚压螺纹是用成型滚压轮模具通过塑性变形所获得螺纹的加工方法,使材料组织发生转移,而没有破坏金属的纤维结构,且细化了材料晶粒,提高了螺纹的强度和硬度。

在汽车发动机增压器涡轮部分,对高温螺栓的可靠性及寿命提出了更高要求,其中对检验螺纹合格与否的就是检测螺栓及螺纹的流线。流线是金属在成形过程中晶粒、晶界等沿着主伸长方向形成的一种组织形貌。在紧固件服役过程中,锻锻的流线分布不合理,将导致螺栓的力学性能下降,缩短螺栓使用寿命;当螺栓的流线分布合理时,可以提高螺栓的强度及抗疲劳性能,为此,检测螺栓的流线是否正常就尤为重要。

对于由盘条机械加工成型、或冷镦和热锻的镍合金螺栓,热处理应该在成型过程中进行,并且在热处理前或后、或者在固溶退火(AT)和沉淀时效(P)之间滚压螺纹。

GH4080A镍合金φ10mm丝材进行固溶处理(固溶温度为1070±10℃),显微组织主要由奥氏体基体和大量碳化物构成,其碳化物主要为富含Cr的碳化物,固溶后变形的晶粒转变为比较

表1 GH4080A原材料化学成分(按照标准GB/T14994执行)

牌号	化学成份												
	C	Cr	Ni	Co	Al	Ti	Fe	B	Si	Mn	P	S	Cu
	不大于												
GH4080A	0.04~0.10	18.00~21.00	≥65	≤2.00	1.00~1.80	1.80~2.70	1.50	0.008	0.80	0.40	0.020	0.015	0.20



均匀细小的等轴晶粒。经不同变形量冷拔后,可以看出,该合金在变形过程中的变形机制为滑移和孪生。当变形量小于10%时,合金的晶粒度为7~9级;当变形量增加至20%时,晶粒度为10~11级。为此,镍合金丝材在拉拔时,控制拉拔量不大于12%,显微组织进行晶粒度测评在9~10级为佳。

螺纹连接中的紧固件通常通过施加扭矩产生预紧力,因此,对镍合金螺栓进行润滑十分关键,以避免在紧固过程中出现磨损或咬合现象。通过适当的表面精饰(润滑或涂/镀层或带有润滑的涂/镀层),涂蜡/或涂MoS₂,控制镍合金紧固件扭矩~夹紧力关系,在这种情况下,标记和/或标签中在产品代号后紧跟字母“Lu”,在紧固过程中,一些参数可能会增加镍合金紧固件的磨损风险,如螺纹损坏、高预载荷、高拧紧速度等。为此,应选择适当的拧紧措施和方法,以达到所需的预紧力。

2、镍合金紧固件的热处理

镍合金紧固件尽管有大量的含镍、含铬元素的材料牌号选择,但是还必须通过正确的热处理手段,才能更好地发挥镍合金的功能。可以说,热处理生产是提高镍合金紧固件品质和使用可靠性的重要保证。

GH4080A (NiCr20TiAl) 镍合金须采用固溶强化、第二相强化和晶界强化三类手段对合金进行综合强化。基本热处理制度为固溶处理+时效处理[4];固溶处理可使强化相 γ' 相和碳化物固溶,获得最佳的持久蠕变强度;时效处理可以有效的析出沉淀相,类型、数量与尺寸和所要求的强度、塑性、韧性的配合。固溶处理:1050℃~1090℃X8h,空冷,随着固溶温度的提高, GH4080A镍合金基体的过饱和度增加。时效处理温度:第一次时效840~860℃X24h,奥氏体晶界会同时析出大量大小不同的 γ' 相,平均直径分别为0.25 μ m和0.04 μ m,导致硬度显著提高,第二次690~720℃X16h时效,空冷处理,起到补充时效硬化的作用,基体上弥散析出大量的 γ' 强化相,平均晶粒尺寸为约127 μ m,硬度为355~380HV。GH4080A镍合金(或690~700℃X16h一次时效)在固溶组织的基础上经700℃ $\pm$ 5℃,16h,晶界上的M7C₃继续转变为M23C₆碳化物,所以在晶界上沉淀出连续的M23C₆碳化物,晶内的 γ' 相也长大成球形质点。研究表明,晶粒度对GH4080A (NiCr20TiAl) 镍合金的疲劳强度影响明显,表面细晶组织可以提高疲劳裂纹的萌生抗力,内部的粗晶组织有利于提高疲劳裂纹的扩展抗力。晶粒度不仅影响试样的疲劳寿命;也影响试样的疲劳强度,晶粒度越小,单位体能内晶界数量越多,对裂纹萌生的阻碍作用越明显。

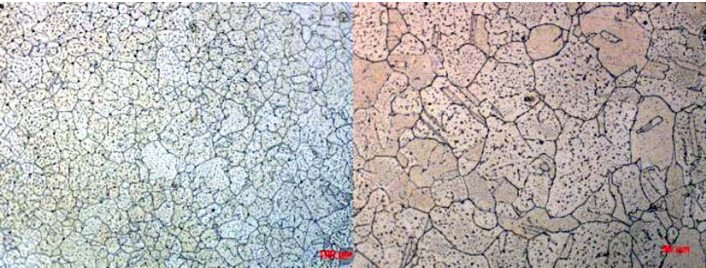
表3 GH4080A热处理制度及技术要求

牌号	热处理方式	热处理温度	Rm/MPa	Rp0.2/MPa	A/%	硬度/HV
GH4080A	固溶+时效	固溶:1050~1090℃×8h 时效:840~860℃×24h, 690~710℃×16h	1000~1300	$\geq$ 600	$\geq$ 12	320~417

GH4080A镍合金紧固件室温性能见表2;汽车发动机GH4080A紧固件热处理制度及技术要求见表3;GH4080A (NiCr20TiAl) 镍合金热处理微观金相组织为 γ' 相+ M23C₆碳化物(图1)。

表2 镍合金紧固件室温性能

材料类别	牌号	典型的热处理制度	螺栓抗拉强度/MPa	硬度/HV
镍合金	GH4080A (NiCr20TiAl)	+AT+P	1000~1300	320~417
注:1) +AT:固溶。2) +P:时效硬化。				



100X 200X
图1 GH4080A固溶+时效处理,王水腐蚀

3、高温性能测试概述

对于实际使用温度在650℃以上,且螺栓抗拉强度要求至少为900 MPa时, GH4080A镍合金的螺栓应增加螺栓的高温持久试验,评估和验收可由供需双方协商进行。

3.1 测试设备一般要求

高温拉力试验机 and 高温蠕变试验机要求具备加热及保温装置。试验机应能以可控速率施加拉伸载荷,在试验机允许力值范围内,示值相对误差不应超过 $\pm$ 1%,试验机力值必须检定[5]。

加热炉应保证在整个实验期间试样的温度波动和温度梯度符合表4规定,温度应自动记录,测量温度的仪器灵敏度应在1℃以内。

表4 温度波动和温度梯度要求

试验温度℃	温度波动℃	温度梯度℃
$\leq$ 600	$\pm$ 2	2
>600~900	$\pm$ 3	3
>900~1100	$\pm$ 4	4

热电偶应按规定校准，固定热电偶过程中应使热电偶的热接头紧靠试样并固定，受样品长度限制时，至少应在试样两端附近夹具上分别固定一支热电偶。

试验夹具应能在试验温度下承受试验载荷而不产生永久变形，固定试样的夹具安装孔基本直径为紧固件杆部最大直径加0.025 mm，极限偏差为0 ~+0.10 mm。高温试验要注意防止紧固件因热膨胀而受剪切。

当螺母类产品进行高温试验时，可采用与螺母同批材料同炉热处理后的圆形截面光滑试样进行试验，试样的尺寸和结构加工可参考金属材料的高温拉伸和应力断裂试验方法。

高温试验过程中，在加热达到试验温度和所规定的温度梯度后，保温一段时间后开始试验，高温拉伸保温时间至少为15分钟，高温持久保温时间至少为1小时，但不能超过24小时。

3.2 高温拉伸和持久性试验

拉伸试验过程中，应缓慢平稳的对试样施加载荷，应力速率(700±70) MPa/min 进行试验[6]。

根据GB/T2039规定的试验方法，将实物安装在高温蠕变持久试验机上，温度升高至指定温度，载入轴向拉应力到规定拉应力，保持一定时间，螺栓在保持时间内不得发生断裂，不得有明显的变形和伸长，然后继续加大拉应力，直到试样断裂，降到室温时，测量其断后伸长率不得小于规定值。变形和伸长要求根据供需双方协定进行。表5给出了GH4080A镍合金高温持久性能。表6为GH4080A镍合金高温拉伸性能。

表5 GH4080A镍合金高温持久性能

牌号	室温性能					高温持久性能			
	抗拉强度 Rm/ MPa	规定非比例延伸 强度Rp0.2/MPa	断后伸长率 A/%	断面收缩率 Z/%	硬度HBW	试验温度 /℃	试验应力σ / MPa	时间/h	断后伸长率 A/%
	不小于								
GH4080A	1000	620	20	——	≥285	750	340	30	——

表6 GH4080A镍合金高温拉伸性能

牌号	热处理 状态	机械性能 MPa		温度℃												
				50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
GH4080A	固溶+ 时效	Rm	分钟	1070	1044	950	900	900	900	900	900	900	890	880	850	—
		Rp0.2	分钟	595	586	577	568	564	560	550	540	530	520	510	500	480

对高温台架试验后的螺栓、螺母紧固件，检测其力学性能，如抗拉强度、硬度等，及微观组织，可用于补充评价材料的服役稳定性。

◆ 结论 ◆

GH4080A镍合金主要用于车用增压器涡轮轴、涡轮螺栓、螺柱、螺母和紧固件等重要零部件，对晶粒度和金相组织的要求越来越严格，这关系到零部件材料的服役条件，必须具有较高的室温力学性能外，还要求在长期的时效条件下具备良好的高温蠕变持久性能。

总之，GH4080A镍合金螺栓、螺柱与螺母的配合选择应满足制造材料的一致性，按照GB/T 3098.8的规定，螺母和与之配合的螺栓、螺柱材料强度比值应大于0.7，以免发生高温松弛。

参考文献

1. 陈国良.高温合金学[M],北京:冶金工业出版社,1988.
2. 郭建亭.高温合金材料学(上册)[M],北京:科学出版社,2008.
3. 张九高,姜建鸿,骆鹏,等.动车组高强度螺栓品质分析[J],热处理技术与装备,2019,40(2):52-58.
4. 薄鑫涛,郭海洋,袁凤松.实用热处理手册[M],上海:上海科学技术出版社,2014.
5. 王滨.金属材料力学性能试验[M],北京:科学普及出版社,2014.
6. 杨宜可.金属高温强度及试验[M],上海:上海科学技术出版社,1986.



最懂您的

www.fastener-world.com

行销策略团队

