

中国高温合金 GH4169 研究现状及发展趋势

The Current Research Status and Development Trend of Superalloy GH416 of China

李倩云 侯志伟

湖南人文科技学院,中国·湖南 娄底 417000

Qianyun Li Zhiwei Hou

Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi, Hunan, 417000, China

【摘要】论文简述了中国高温合金 GH4169 的研究现状和未来的发展趋势。中国对 GH4169 合金已开展了大量的研究工作,该合金的质量不断提高,满足了中国航空发动机用的需要。但是在组织均匀性、晶粒尺寸度控制、切削加工理论研究以及环轧技术方面与国际 Inconel 718 合金还存在不少差距。高温合金 GH4169 将朝着成分工艺优化、生产精准化、数据库化等方面发展。

【Abstract】The paper briefly describes the current research status and development trend of superalloy GH4169 of China. A lot of research work has been done on GH4169 alloy in China, and the quality of the alloy has been improved continuously, which can meet the needs of aeroengine in China. However, it still has many gaps compared with the international Inconel 718 alloy in the structure uniformity, control of the grain size, theoretical research on cutting machining, and ring rolling technology. The Superalloy GH4169 will be developed towards the optimization of composition process, precision production, database and so on.

【关键词】GH4169;组织均匀性;切削加工;优化

【Keywords】GH4169; structure uniformity; cutting machining; optimization

【DOI】<http://dx.doi.org/10.26549/gcjsygl.v1i3.624>

1 引言

中国高温合金 GH4169 是根据美国的 Inconel 718 合金仿造而成,由于镍、铬等元素的加入,使其成为一种性能优异的变形高温合金^[1]。GH4169 合金在高温 650℃时,强度、韧性、硬度、抗腐蚀等性能仍然良好,因而被广泛用于航空航天等多个领域^[2]。该合金在航空发动机中的应用最典型,用量也最大。随着中国航空技术的不断进步,应对该合金进行更加深入全面地研究,以充分发挥高温合金 GH4169 的特性及用途。

2 研究现状

中国对美国 Inconel 718 合金的仿制始于 20 世纪 60 年代,在中国专门设立了一个牌号为 GH4169 与之对应,从 20 世纪 80 年代开始,中国着手研究 GH4169 合金用大型涡轮盘。目前,中国针对 GH4169 合金的锻造加工已开发了三种典型工艺^[3],即标准工艺、高强工艺与 DA 工艺。随着强军目标的不断推进以及中国工业水平的不断提升,中国有许多的专家学者及企业对 GH4169 合金进行了大量的研究工作,充分结合中国现有的技术与设备,创造性地研发及掌握了许多先进核心技术,致使 GH4169 合金得以充分应用,因而满足了中国航空对该合金的需要^[4]。目前与国际 Inconel 718 合金相比还存在不少差距,中国在 GH4169 高温合金的研制和实际生产过程中还存在不少问题。

2.1 大件组织均匀性及晶粒尺寸度难以得到很好保证

组织决定性能,一般来说组织越细小均匀,材料性能越好。目前中国 GH4169 合金大尺寸棒材的晶粒度与美国 Inconel

718 合金同规格大尺寸棒材相比相差 1~2 个等级。美国用 Inconel 718 合金制造出来的大尺寸棒材其组织均匀,从棒材中心到棒材边缘的晶粒尺寸差别很小,性能非常稳定;而中国用 GH4169 合金制造出来的大尺寸棒材,晶粒度及组织均匀性有待进一步提升,棒材中心与棒材边缘晶粒度差距较明显,有一部分未再结晶的大颗粒存在于棒材边缘,因而导致其组织均匀性相比较差,性能稳定性受到一定程度的影响。中国生产的大型盘锻件与世界先进国家相比,在组织均匀性、晶粒尺寸度方面同样存在较大差距,由于较大未再结晶颗粒的存在导致中国一些盘锻件的性能达不到严格的技术要求而影响生产进度,给企业造成较大的经济损失。据统计,太行发动机在中国批量化生产已有 10 多年,大型盘锻件现已生产了数万件,正是由于组织及晶粒度指标超标问题的存在,使其产品合格率与美国等国家相比存在较大的差距。因此,如何精准控制大件组织均匀性及晶粒尺寸度仍然是中国科研工作者的重点研究方向。

2.2 切削加工理论研究不深

40 多年来,中国对 GH4169 合金开展了一系列大量的研究工作,取得了很多成就,研究工作主要集中在高温性能、成分设计、结构控制、组织分析及热处理等方面,而在切削加工方面研究尚浅,尤其是深孔钻削方面研究得非常少,远远落后于美国。20 世纪 60 年代开始,美国、德国、瑞典、日本以及英国等国家都已有严格化的切削加工标准。中国对高温合金刀具材料的研究相对比较晚,目前中国许多高端刀具主要依靠进口。要解决 GH4169 合金的切削问题,必须要对其对应的刀具进行研究,近年来中国有一些著名专家及企业如哈尔滨工业

大学袁哲俊教授、株洲硬质合金集团有限公司对金刚石刀具从材料设计、刀具几何参数设计及切削性能等方面进行了深入的研究,推广了金刚石刀具的应用范围,为中国航空领域用高温合金的切削加工提供了一定的理论依据。但中国在钻削GH4169高温合金时仍然面临许多问题,加工出来的工件尺寸精度及表面质量要求难以得到充分保证,产品合格率不高,一些精度要求极高的加工表面基本无法完成。深孔套料加工更是一项要求极高的切削加工技术,一方面对刀具要求高,另一方面深孔要进行及时冷却而且要保证加工出来的深孔满足技术要求,目前中国对深孔套料加工的研究主要集中在改进刀具结构等方面,因而不能形成一套完整的理论体系,更没有一套完整的深孔钻削评价系统从而很难保证极高的产品切削加工合格率。美国等先进国家专门针对 Inconel 718 合金进行了切削加工理论研究,特别是在深孔钻削方面,经过几十年的研究积累,已经建立了相关的数据库及评价体系,在切削加工方面取得了显著的效果,处于世界领先水平。

2.3 环轧技术有待提高

环件轧制技术是借助环件轧制设备轧环机使环件产生壁厚减小、直径扩大、截面轮廓成形的塑性加工工艺。GH4169合金进行环件轧制时,必须严格控制一些核心参数,如径向和轴向变形量,如果这些关键核心参数控制不当会直接影响产品的尺寸精度,从而影响产品质量。中国许多学者研究发现温度、轧制力等因素会影响GH4169合金环件双向轧制质量,其中比较著名的学者有刘东等。发达国家对 Inconel 718 合金的环件精确轧制技术已经进行了深入的研究,建立了一套完整的体系,而中国对于GH4169合金的环件精确轧制技术相比美国差距甚远,至今没有自己的体系与完整的数据库,该合金轧制中涉及的运动学、热力学等多方面问题,还有待仔细研究。

3 中国高温合金 GH4169 发展趋势

随着中国大飞机项目的发展及航空技术水平的不断进步,人们对发动机性能提出了更高的要求,不仅要求质量可靠,更希望提高其使用寿命和性价比。目前中国对GH4169合金的研究取得了巨大成绩,同时还有一些问题需要更进一步研究。只有更全面更深入研究GH4169合金,一些暂时没有被发现的特性才能被挖掘出来,从而更加全面充分地发挥其性能。因此GH4169合金将朝着以下方面发展。

3.1 成分、工艺不断优化

研究表明,GH4169合金的持久蠕变性能与P、Nb含量有关,适当提高这两种元素的含量可显著提高该合金的性能,GH4169合金中P含量从35ppm增加至3.5倍,Nb含量由原来的5.2%提高0.2%以后,结果发现其持久蠕变性能显著提

升,这意味着将延长GH4169合金盘件的服役寿命。此外,GH4169合金的性能也与其他元素的含量有关,如C、S含量等,这些元素的具体影响将会进一步进行精细研究。目前在中国GH4169合金的冶炼主要采取电渣重熔工艺,即真空感应熔炼+真空自耗重熔两联工艺或真空感应熔炼+真空自耗重熔+氩气保护。而在国际高质量涡轮盘的冶炼要求采取的工艺为真空感应熔炼+电渣重熔+真空自耗重熔。而现在有些国际企业结合中国的先进工艺,创新性地采用了真空感应熔炼+氩气保护的电渣重熔+真空自耗重熔三联工艺冶炼,结果发现明显减少了该材料中S、O的含量,使该合金的性能特别是抗疲劳及持久蠕变性能得到了明显改善。因此,对成分、工艺的不断优化可以提高GH4169合金的性能。

3.2 生产精准化

目前中国利用大型高能螺旋压力机模锻GH4169合金涡轮盘,但在实际生产过程中产品合格率不高,与国际相比,中国的压力机设备处于领先水平,GH4169合金成分也符合要求,但由于在生产过程中缺乏相关的先进管理与控制技术,很多生产环节靠人工完成,某些关键技术进行人工操作存在一定的不稳定性,因而合格率不高。因此对整个生产过程进行精准控制是未来发展的趋势。

3.3 建立数据库

人工智能、大数据是未来发展的必然趋势,对GH4169合金建立数据库(如成分、加工工艺、组织性能等数据库)不仅可对其相关信息等资料进行了完善,也方便在以后使用过程中随时调用。另外建立数据库后可以利用计算机依托人工智能技术对该合金进行优化与改进,减少了研发成本与周期,研发的可靠性大大提高。

4 结语

①目前中国对GH4169合金开展了大量的研究工作,使该合金质量不断提高,满足了中国航空发动机对该合金的需要。②与国际Inconel 718合金相比在组织均匀性及晶粒尺寸度控制、切削加工理论研究和环轧技术方面还存在不少差距。③高温合金GH4169将朝着成分及工艺优化、生产精准化、数据库化方面发展。

参考文献:

- [1]杜金辉.GH4169合金盘锻件制备技术发展趋势[J].钢铁研究学报,2011,23(2):130.
- [2]庄景云,杜金辉,邓群.高温合金GH4169组织与性能[M].北京:冶金工业出版社,2011.
- [3]师昌绪.中国高温合金五十年[M].北京:冶金工业出版社,2006.
- [4]胡华南.高温合金切削加工技术现状与展望[J].安徽工学院学报,1990(4):47.