

Ti-6AL-4V ELI宽幅板坯锻造工艺研究

Research Forging Process of Ti-6AL-4V ELI Wide Slab

供稿张伟¹, 李巍¹, 李渭清¹, 段晓辉¹, 刘继雄², 庞洪¹ / ZHANG Wei¹, LI Wei¹, LI Wei-qing¹, DUAN Xiao-hui¹, LIU Ji-xiong², PANG Hong¹

内容导读

为了研制出Ti-6AL-4V ELI钛合金4500 m深潜器用宽幅厚板, 宝鸡钛业股份有限公司(简称宝钛股份)采用 ϕ 920 mm/7200 kg铸锭, 利用80/100 MN快锻机锻造设备的优势, 并通过合理的锻造工艺和变形参数, 在国内首次成功研制出230 mm \times 1750 mm \times 4000 mm的Ti-6AL-4V ELI钛合金宽幅板坯。利用光学显微镜、拉伸试验机和探伤设备分析了板坯的显微组织、力学性能、探伤水平。结果表明, 经过充分变形后组织为典型的两相区变形组织, 由等轴或长条的 α 相和 β 相转变组织组成; 板坯抗拉强度大于900 MPa, 延伸率大于14%; 超声波探伤杂波水平到平底孔 Φ 2.0-6 dB。板坯各项指标均满足设计要求。

Ti-6AL-4V钛合金是典型的 α + β 两相钛合金, 是应用最为广泛的钛合金之一。可用于制造飞机的承力结构件、锻件、钣金件等。在Ti-6AL-4V合金基础上改进的Ti-6AL-4V ELI钛合金是一种损伤容限型钛合金, 具有中等强度、高损伤容限和长疲劳寿命等特点。与其他中等强度钛合金相比, 在强度和塑性水平相当的情况下, Ti-6Al-4V ELI钛合金具有相当高的断裂韧度和抗疲劳裂纹扩展能力, 广泛地应用于制造深潜器耐压壳体。

钛合金成品板材对组织均匀性要求较高, 在实际地生产过程中, 经常出现一些组织不均匀现象, 造成成品板材不能满足标准要求。因钛合金具有组织遗传性, 因此锻造板坯的组织形态和均匀性对轧

制的成品板材具有决定性的影响。

本文主要研究板坯锻造工艺及变形参数对板坯组织形态和性能的影响。目的在于选出较合理的板坯锻造工艺, 提高板坯质量, 为后期成品板材轧制奠定基础。

试验

试验选材及工艺设计

试验选用宝钛股份生产的规格为 ϕ 920 mm/7200 kg的Ti-6Al-4V ELI铸锭, 铸锭经三次真空自耗电弧炉熔炼, 以保证铸锭成分均匀, 最终扒皮去除表面缺陷。其化学成分符合GB/T3620的规定。

采用宝钛股份锻造厂拥有的80/100 MN快锻机进行锻造。为保证板坯的组织均匀性,工艺设计为在单相区采用多火次镦拔工艺,保证总变形大于80%,从而使铸态组织充分破碎,晶粒细化。两相区采用多火次镦拔工艺,保证总变形大于70%的变形量,继续细化晶粒,保证组织均匀性,并且使原直径 $\phi 920$ mm铸锭墩粗至 $\phi 1150$ mm,同时为使板坯宽度满足 ≥ 1750 mm尺寸要求,采用横向宽展,即坯料长度方向与锤头长度方向平行;利用最小阻力原理,逐步展宽,最终得到满足轧制工艺设计要求宽幅板坯。横向宽展工艺如图1所示,最终锻造出轧制用板坯的规格为 $230\text{ mm} \times 1750\text{ mm} \times \geq 4000\text{ mm}$ 。

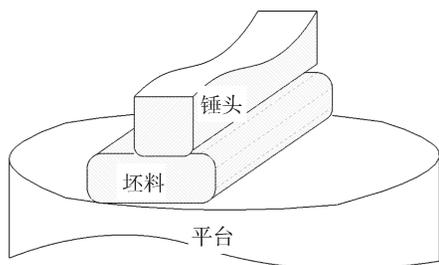


图1 横向宽展示意图

锻造工艺可行性分析

整个锻造工艺中,两相区的镦粗锻造因坯料温度低、变形抗力大,所需要的力最大。通过对锻造过程中所需的压力进行验证,以检测现有设备是否满足。其墩粗力 $P(N)$ 的大小由下式决定。

$$P=C\sigma_b F \quad \text{式 2-1}^{[1]}$$

式中, C —材料变形时的约束系数;(由坯料和几何形状以及摩擦条件决定,当摩擦系数为0.5时, $C=1+D/6H$, D 、 H 为墩粗终了时锻件的直径和高度。)

σ_b —材料在变形温度下的峰值应力;

F —坯料与工具的接触面积, mm^2 。

2-1式中峰值应力 σ_b 值,根据工艺参数设定要求分别对不同温度下最大变形压力计算,通过热模拟实验得出Ti-6AL-4V ELI钛合金在850 °C、950 °C、1150 °C;应变速率(/s)为0.001、0.01、0.1下的峰值应力,如图2所示。

通过图2可得出Ti-6AL-4V ELI钛合金板坯在两相区镦拔时应变速率为0.01/s时,经2-1公式计算得出所需最大变形压力为56 MN,横向宽展最大变形压力

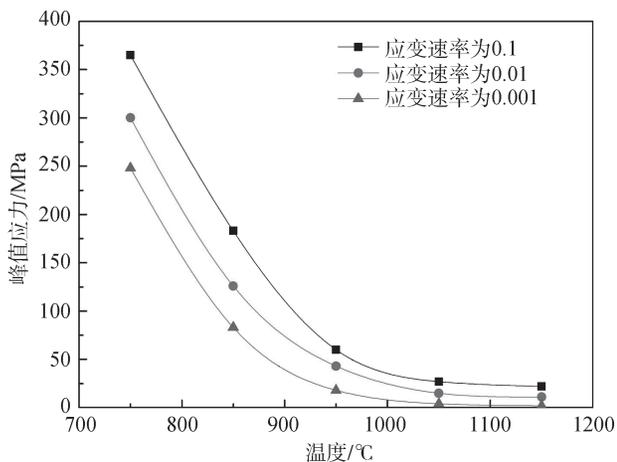


图2 Ti-6AL-4V ELI钛合金不同温度、不同应变速率峰值应力

为42 MN,即表明利用80/100 MN快锻机,采用镦拔加横向宽展工艺的锻造方法是可行的。

实际生产中设备系统显示实测最大变形压力为62 MN,由此说明Ti-6AL-4V ELI钛合金热模拟实验数据是可信的,并且80/100 MN快锻机满足生产需求。

结果讨论

通过对板坯不同部位进行取样,通过典型的热处理状态下,对不同部位的显微组织,和力学性能检测。热处理制度为:750 °C/保1.5 h-AC。

锻造工艺对显微组织的影响

铸锭通过单相区大的变形对铸态组织充分破碎,两相区大的变形是组织进一步细化,再延轴线压扁拔长。从图3中(a)~(d)板坯整体组织观察,为典型的 $\alpha + \beta$ 加工组织。(a)和(c)为边部和心部纵向显微组织,组织呈长条状,并呈现一定的流线分布;(b)和(d)为完全球状等轴组织。说明锻造过程中金属的主变形方向是沿着纵向进行,这与工艺设定均为相符。得到纵、横向显微组织都很均匀,方便板坯后续轧制。

室温力学性能

表1所示为Ti-6Al-4V ELI钛合金宽幅板坯不同方向的力学性能。表中数据表明,通过工艺设计锻造方法生产出的宽幅板坯的力学性能已经能够满足设计要求,为后续板坯轧制奠定了基础。

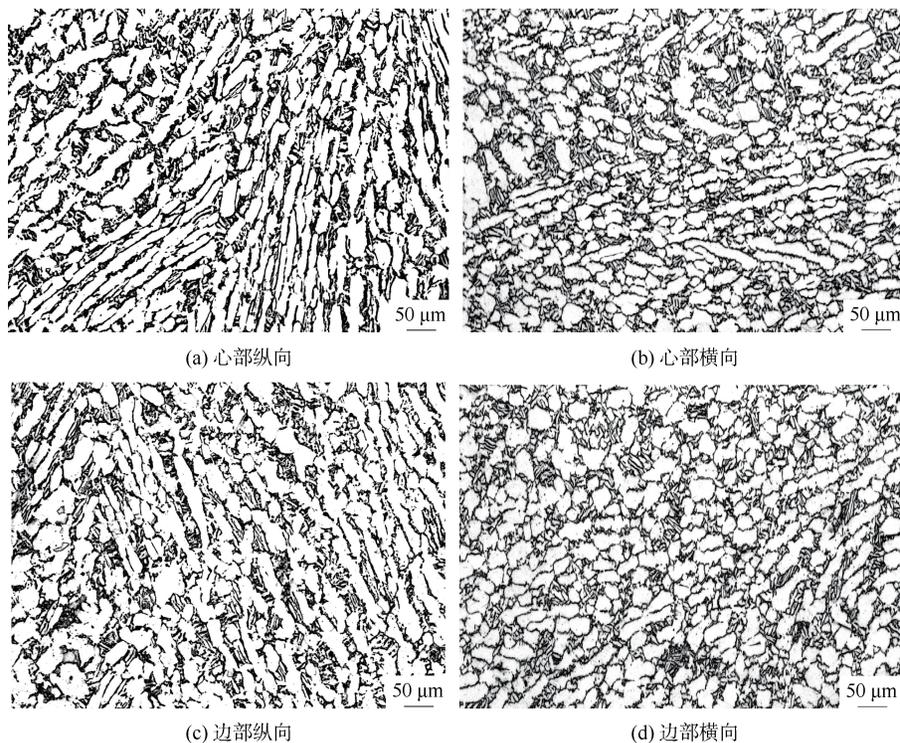


图3 锻造板坯显微组织。(a)心部纵向；(b)心部横向；(c)边部纵向；(d)边部横向

表1 室温力学性能

取样部位	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A_5 /%	Z/%	A_{kv} / (J·cm ⁻²)
横向	946	870	15	41	45
	942	853	16	37	50
纵向	921	840	16	35	80
	918	823	17.5	42	76

板材无损探伤

Ti-6Al-4V ELI钛合金板材的心部、边部超声波探伤杂波水平到平底孔 $\Phi 2.0$ -6 dB，进一步表明板材组织均匀性和冶金质量良好。

结论

(1) 通过80/100 MN油压机采用横向宽展锻造工艺可生产出尺寸规格为230 mm × 1780 mm × ≥ 4000 mm的Ti-6Al-4V ELI钛合金宽幅板坯。

(2) 经过充分变形后组织为典型的两相区变形组织，由等轴或长条的 α 相和 β 转变组织组成；板坯抗拉强度大于900 MPa,延伸率大于14%；超声波探伤杂波水平到平底孔 $\Phi 2.0$ -6 dB。

(3) 通过合理的锻造工艺和变形参数，使板坯组织均匀，性能满足要求，为轧制奠定基础。

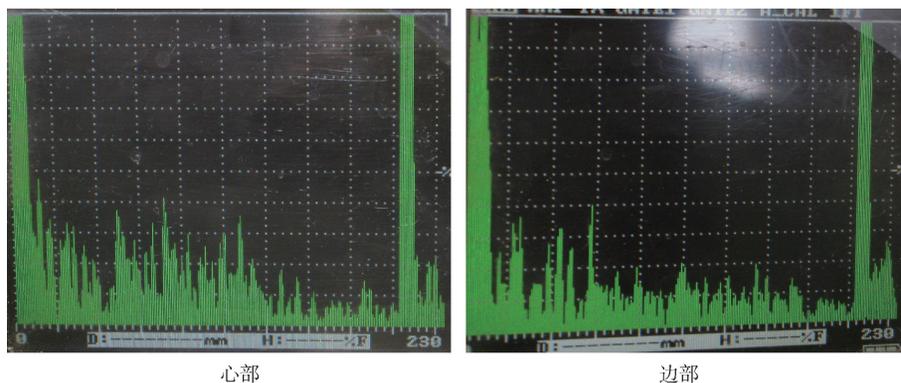


图4 Ti-6Al-4V ELI钛合金板材探伤水平

析, 科技信息, 2011, (3): 476

参考文献

- [1] 莫畏. 钛. 北京: 冶金工业出版社, 2008
- [2] 罗皎, 李森泉, 李宏, 等. TC4钛合金高温变形行为及其流动应力模型. 中国有色金属学报, 2008, 18(8): 1395
- [3] 张毅, 刘建忠. Ti-6Al-4V合金在快锻液压机上锻造工艺的计算分

作者简介: 张伟(1986—), 男, 陕西省咸阳市人, 助理工程师, 毕业于江西理工大学, 学士学位, 现就职于宝鸡钛业股份有限公司锻造厂技术科。通信地址: 陕西省宝鸡市渭滨区宝鸡钛业股份有限公司锻造厂技术科, 721014。E-mail: 15291753577@139.com。

发掘职工创新潜能 激发职工创新活力

金川集团举办职工经济技术创新成果展

98%的成果在生产中得到应用, 创造经济效益达10.1亿元

为进一步发掘职工创新潜能, 激发职工创新活力, 引导职工积极践行“人人参与创新、时时都在创新、处处体现创新”的群众性创新理念, 充分展示公司“十二五”以来节能减排达标竞赛成果, 推动公司节能减排工作和职工技术创新活动深入开展。近日, 金川集团公司在金川体育馆举办了节能减排达标竞赛和职工经济技术创新成果展, 共有368项技术创新成果进行了展示交流。

开展仪式上, 公司对2014年度涌现出的10个优秀劳模(职工)创新工作室, 选矿厂、二矿区、镍冶炼厂等5个荣获第十届海峡两岸优秀创新成果项目进行了表彰。

近年来, 金川公司相继组织开展了以“立足岗位攻关, 揭榜破解难题”为主题的职工经济技术创新“揭榜攻关”等活动, 充分发挥劳模(职工)创新工作室的阵地作用, 组织引导职工立足本职, 岗位创新, 学习新知识, 钻研新技术, 不断提高学习能力、实践能力和创新能力, 营造全员参与、鼓励创新、追求卓越的良好氛围。大力培养选树在职工技术创新活动中涌现出来的金牌员工、创新能手等创新人才和技能人才楷模, 表彰和推广他们的优秀技术创新成果, 进一步激发和调动职工参与创新的积极性、主动性。同时, 充分发挥技师协会的作用, 利用成果展机会, 把一些同行业、同工艺的创新成果聚集起来, 开展广泛的学习交流, 促进创新成果的推广应用和不断改进。群众性的经济技术创新活动, 作为公司科技创新的补充和延伸, 有力地助推了企业的技术进步。也让金川集团广大职工潜在的创造力得到了充分发挥, 已成为上一支不可忽视的力量。“小点子”催生“大智慧”, “金点子”产生“大效益”, 在企业转型升级的过程中, 劳动生产率的提高, 企业效益效率的提升, 职工的聪明才智如何充分发挥, 职工技术创新活动发挥着越来越重要的作用。

据悉, 自2004年以来, 金川集团公司先后举办了六届职工技术创新成果展, 有2500多项成果参加了展览, 对700多项成果进行了奖励, 16.6万多人次参观展览, 98%以上的成果在生产中得到应用, 创造经济效益累计达到10.1亿元。(梁赞)