文章编号: 1004-0609(2010)S1-s1045-05

冷变形及退火参数对 CT20 钛合金管材 组织和拉伸性能的影响

杜 宇,郭荻子,刘 伟,戚运莲,卢亚峰

(西北有色金属研究院, 西安 710016)

摘要:研究冷变形程度、冷变形参数 *Q* 值和退火温度等变形和热处理参数与 CT20 钛合金管材拉伸性能的关系, 以及 CT20 钛合金管材的冷加工变形特点和组织性能的变化规律。结果表明:CT20 钛合金具有较强的冷变形能力、 较宽的退火温度区域,可通过增大 *Q* 值来提高管材的屈服强度;选择合适的退火制度,可获得不同的合金组织形 貌;等轴组织具有更加优异的室温拉伸性能。

关键词: CT20 钛合金;冷变形;退火;组织;拉伸性能中图分类号: 文献标志码: A

Effects of parameters of cold deformation and annealing on microstructure and tensile properties of CT20 alloy tube

DU Yu, GUO Di-zi, LIU Wei, QI Yun-lian, LU Ya-feng

(Northwest Institute for Nonferrous Metal Research, Xi'an 710016, China)

Abstract: The relationship between the parameters of deformation degree, Q value, annealing temperature and tensile properties of the CT20 alloy tube the variation regularities of deformation characteristic and microstructure were studied. The results show that the alloy has good cold workability, wider annealing temperature range, and the strength of the alloy tube can be improved by increasing of Q value; the different typical microstructure can be obtained by selecting different annealing temperature; the equiaxed microstructure has good tensile properties at room temperature. **Key words:** CT20 alloy; cold deformation; annealing; microstructure; tensile property

CT20 钛合金属于 Ti-Al-Zr-Mo 系,是一种近 a 型 中强钛合金,该合金由西北有色金属研究院于 20 世纪 90 年代末研制成功。CT20 钛合金具有良好的冷、热 加工性能,可加工成各种形状的压力加工产品。管材 主要用于 20 K 温度下液氢管路系统,使用环境复杂、 条件苛刻,要求管材具有良好的室温、低温性能,工 艺性能和焊接性能。根据该合金的特点,采用钻孔挤 压制备管坯,多辊多道次冷轧的方法制备管材,对管 材冷加工率、冷变形参数 Q 值和退火温度与组织性能 的关系进行了研究,为 CT20 钛合金管材的冷加工工 艺和热处理制度的优化提供支持。

1 实验

CT20 钛合金铸锭经真空自耗电弧 3 次熔炼而成, 锻造后经钻孔挤压加工成轧制用管坯。挤压管坯经开 坯和多道次冷轧、表面处理以及退火后加工成管材, 加工率<70%,变形参数 *Q* 为 3~6,中间道次退火温 度为 750 ℃。

CT20 合金铸锭杂质及其含量分别为(质量分数): Fe 0.03, C 0.02, N 0.012, O 0.08, H 0.002。合金的 *α*+*β*→*β* 转变温度为(930±5) ℃。

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2007BAE07B01, 2007BAE07B03); 国家高技术研究发展计划资助项目(2007CB613807, 2006CB601202) 通信作者: 杜 字,高级工程师; 电话: 029-86231078; 传真: 029-86360416; E-mail: duyu@c-nin.com

实验选用 CT20 合金 d 35 mm×1.5 mm 冷轧管材 进行退火实验。采用如表 1 所示的 5 种退火制度。退 火后沿管材轴向切取标距宽 15 mm,长 25 mm 的室温 拉伸试样。在ZWICK150 拉伸机上测试室温拉伸性能; 用 OLYMPUSPMG3 金相显微镜观察合金的显微组 织。

表1 CT20 合金的退火制度

 Table 1
 Heat treatment of CT20 alloy

序号	退火温度/℃	保温时间/h	冷却方式
1	750	1	炉冷
2	800	1	炉冷
3	850	1	炉冷
4	900	1	炉冷
5	950	1	炉冷

2 结果与讨论

2.1 冷变形参数与管材拉伸性能的关系

冷变形程度对管材拉伸性能的影响如图1所示。



图1 不同变形量对管材性能的影响

Fig.1 Effect of deforamtion amount on properties of CT20 alloy tube

由图 1 可见,随着应变量的增加,管材断裂强度和屈服强度上升,塑形下降;冷变形初始阶段材料硬化很快,塑形下降剧烈,变形量大于 30%以后,塑形下降变缓,变形量达到 55%,强度在 900MPa 以上时,管材伸长率在 8%以上,变形量达到 70%,强度在 950 MPa 以上时,管材伸长率在 6%左右,并出现开裂。此外,随着变形程度的增加,合金管材的屈服强度更接近断裂强度^[1-2]。

*Q*值(相对减壁量与相对减径量的比值)是间接描述管材形变织构的一个参数^[3],其值大小对管材拉伸性能有一定影响,管材拉伸性能与*Q*值的对应关系如图2所示。



图2 管材 Q 值与性能关系曲线



从图 2 可知, *Q* 值在 3~6 区间内时,管材断裂强 度无明显变化,屈服强度随 *Q* 值的增加提高了 100 MPa 左右, *Q* 值的变化对合金管材塑性影响不大。

2.2 退火温度与显微组织的关系

由于近 a 钛合金与 a 钛合金具有相似的相变特 点,决定了其热处理强化效应较弱,一般不采用固溶 和时效处理,主要采用完全退火处理。退火温度与管 材组织的关系如图 3 所示。

由图 3 可见,合金不同温度退火后得到的显微组 织差别明显。在 750 ℃时退火得到细小的等轴组织, 细小晶粒的晶界不明显;在 800 和 850 ℃时退火得到 晶界清晰的等轴组织,平均晶粒大小为 6 µm;在 900 ℃时退火时得到平均晶粒大小为 8 µm 的等轴组织, 等轴组织中可见少量的片状 α(β 转变组织);在 950 ℃ 时退火后,合金发生了 α+β→β 转变,组织形貌由等 轴组织完全转变为具有片状 α 的片状组织,平均晶粒 长大到了 250 µm。在 900 ℃温度时退火处理,合金 晶粒尺寸随退火温度升高长大缓慢,在相变点温度以 上退火后合金晶粒长大迅速,组织形貌完全改变。

2.3 退火温度与管材拉伸性能的关系

退火温度与管材拉伸性能关系如图 4 所示。从图 4 可见:合金管材在 750~900 ℃时退火,随着退火温 度的升高,管材强度和伸长率下降比较缓慢,并趋于





图 3 退火温度对管材组织的影响 Fig.3 Effect of annealing temperature on microstructure of CT20 alloy tube: (a) 750 ℃; (b) 800 ℃; (c) 850 ℃; (d) 900 ℃; (e) 950 ℃ (ε=30%)



图4 退火温度对拉伸性能的影响

Fig.4 Effect of annealing temperature on tensile properties of CT20 alloy tube (ε = 30%)

稳定;在 950 ℃时退火,由于合金发生相变,组织由 等轴完全转变为片状,且晶粒过分粗大,造成了合金 管材强度、塑性下降明显^[4]。

2.4 拉伸断口形貌及拉伸应变行为

合金室温拉伸时试样宏观断口起伏较大,表明材 料具有较高的塑性。室温拉伸断口微观形貌如图 5 所 示。由图 5 可知,合金断口均为延性韧窝断裂。合金 为等轴组织时韧腐大小及分布较均匀,如图 5(b)所示。 由图 5(d)可见,随着片状α相的增多变大,韧腐变深, 尺寸变大,留下较大的撕裂脊。

室温拉伸时,试样工作带内所有晶粒普遍发生滑 移应变,应变一硬化连续进行,最终在工作带某处产 生颈缩而发生断裂;具有细等轴组织的试样断口侧面 比较光滑,在拉伸方向有明显的应变痕迹,具有片状



图 5 室温拉伸断口微观形貌

Fig.5 Tensile fractographs of CT20 alloy with various microstructures at room temperature

组织的试样断口侧面出现橘皮状褶皱,并伴有细小裂纹出现。

具有等轴组织的管材试样断口韧离分布均匀,属 于典型的韧性断裂;具有片状组织的管材试样断口也 具有韧性断裂特征,但出现了较大面积的剪切带和粗 大的空洞。这是因为,等轴α相的存在增强了抗裂纹 萌生的能力,提高了合金变形协调能力。片状组织中 裂纹延α片集束扩展时,因每个集束的取向不同,使 裂纹扩展至集束边界后会受到不同取向集束的阻碍, 在界面上容易产生空洞,这种空洞受应力集中的作用 在较低的应变下就会达到临界尺寸,表现为其塑性比 等轴组织的塑性相对偏低^[5-6]。

3 结论

1) CT20 钛合金冷加工管材可实现较大冷轧变形量的生产; CT20 钛合金退火温度范围宽,组织和力学

稳定性好, 增大 Q 值可提高合金的屈服强度。

不同温度退火时合金组织变化显著,在高于合金 α+β→β 转变点退火时得到粗大的片状组织; CT20 合金在 750 ℃以上退火时,室温拉伸性能随着温度的升到逐渐降低,在相变点以上温度退火时,室温拉伸性能最差。

REFERENCES

- 杨英丽,赵 彬,林 桥,殷京瓯,苏航标. 冷加工率对 Ti-35 合金组织性能的影响[J]. 钛工业进展, 2004, 21(6): 22-74.
 YANG Ying-li, ZHAO Bin, LIN Qiao, YIN Jin-gou, SU Hang-biao. Effect of cold processing rate on the microstructure and mechanical properties of Ti-35 alloy [J]. Titanium Industry Progress, 2004, 21(6): 22-74.
- [2] 刘 伟, 卢天健, 杨冠军, 王 飞, 卢亚峰, 毛小南, 杜 宇, 奚正平. CT20 钛合金管材的冷轧工艺及组织性能的研究[J]. 钛工业进展, 2009, 26(6): 15-18.
 LIU Wei, LU Tian-jian, YANG Guan-jun, WANG Fei, LU

Ya-feng, MAO Xiao-nan, DU Yu, XI Zheng-ping. Correlation between processing and mechanical properties of CT20 cryogenic titanium alloy tubes [J]. Titanium Industry Progress, 2009, 26(6): 15–18.

- [3] BOYER R, WELSCH G, COLLINGS E W. Materials properties hand-book: Titanium alloy [M]. Ohio: ASM International, 1994: 68–109.
- [4] 范承亮,杨冠军,于振涛,等.CT20合金的不同显微组织与拉伸性能研究[J].稀有金属,2004,28(2):330-333.
 FAN Cheng-liang, YANG Guan-jun, YU Zhen-tao, CAI Xue-zhang, DU Yu, LIU Wei. Various Microstructures and tensile properties of CT20 alloy [J]. Rare Metals, 2004, 28(2): 330-333.
- [5] H. 米格兰比. 材料的塑性变形与断裂[M]. 颜鸣泉, 译. 北京: 科学出版社, 1998: 12-13.
 H Mig I. Plastic deformation and fracture in material [M]. YAN Ming-gao translation. Beijing: Science Press, 1998: 12-13.
- [6] 束德林. 金属力学性能[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999:

29-33.

SHU De-lin. Mechanical property in metal [M]. Beijing: China Machine Press, 1999: 29-33.

[7] 曲玉福, 袁晓光, 谢华生, 包春玲, 杨海涛. 低温钛合金的研究应用现状及发展趋势[J]. 机械工程自动化, 2009(1): 189-191.

QU Yu-fu, YUAN Xiao-guang, XIE Hua-sheng, BAO Chun-ling, YANG Hai-tao. Research and application development of titanium alloys at cryogenic temperature [J]. Mechanical Engineering and Automation, 2009(1): 189–191.

[8] 李士凯,熊柏青,惠松骁. 热处理制度对 TA15 合金组织与性能的影响[J].材料热处理学报,2008,29(6):82-86.
LI Shi-kai, XIONG Bai-qing, HUI Song-xiao. Effect of heat-treatment on microstructure and properties of TA15 alloy [J]. Transactions of Materials and Heat Treatment, 2008, 29(6): 82-86.

(编辑 刘华森)