

包覆叠轧 TA7 钛合金薄板的组织与力学性能

庞 洪¹, 张海龙¹, 王希哲², 吴 凯¹, 陈 东¹

- (1. 宝鸡钛业股份有限公司, 宝鸡 721014;
2. 北京有色金属研究总院 有色金属材料制备加工国家重点研究室, 北京 100088)

摘 要: 为了解决 TA7 钛合金板材冷加工困难的状况, 对 TA7 钛合金薄板采用包覆叠轧工艺进行热轧直接成品轧制, 可以有效简化工艺、降低成本。分析两种不同加工工艺下板材的组织、织构与性能。结果表明: 采用包覆叠轧工艺可以使 TA7 钛合金板材获得较好的组织, 具备较好的综合力学性能。

关键词: TA7 钛合金; 包覆叠轧; 织构; 性能

中图分类号: TG 146.2 文献标志码: A

Microstructures and mechanical properties of TA7 alloy sheet produced by pack ply-rolling process

PANG Hong¹, ZHANG Hai-long¹, WANG Xi-zhe², WU Kai¹, CHENG Dong¹

- (1. Baoji Titanium Industry Co., Ltd., Baoji 721014, China;
2. State Key Laboratory for Fabrication and Processing of Nonferrous Metals, General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088, China)

Abstract: The effects of pack ply-rolling process on texture and mechanical properties of TA7 alloy were studied. The finished product was produced by hot-rolling instead of cold-rolling which often leads to surface crack. The results show that the pack ply-rolling process can be used to obtain the good overall properties and fine texture for TA7 alloy. At the same time, the cost of production would be reduced.

Key words: TA7 alloy sheet; pack ply-rolling; texture; mechanical property

TA7 钛合金属于单相 α 钛合金, 因具有良好的焊接性、较高的热强性和超低温等优点, 被广泛应用于航空发动机部件、空间推进器部件和超低温储藏器等关键件^[1-3]。该合金板材的冷轧塑性很差, 冷变形时表面极易开裂, 每个冷轧程变形量不能超过 15%。典型规格 1.5 mm 的薄板需要进行 3 个冷轧程, 存在工序长、成品率低和质量不稳定等缺点。采用包覆叠轧工艺进行热轧直接成品轧制能有效地简化工艺和降低成本。

1 实验

1.1 材料及设备

TA7 合金铸锭是宝钛集团采用 2 次真空自耗熔炼而成的, 其化学成分(质量分数)为 Al 5.5%、Sn 2.4%、O 0.11%, 相变点为 1 030 ~ 1 040 。铸锭在水压机锻造造成 145 mm×550 mm×980 mm 板坯, 板坯在感应炉中加热, 选择相变点以上的温度加热开坯, 其余火次在辊道式电阻加热炉中加热, 在 1 200 mm 四辊可逆式热轧机上进行轧制至 4.0 mm 厚, 作为实验用的板坯。成品和半成品的退火在 1 310 kW 辊道式电阻加热炉中进行。

1.2 试验方法

本次试验采用宝钛集团自主开发的钛合金包复叠轧工艺 A 和多次冷轧轧制工艺 B。

工艺A:包覆叠轧工艺。热轧至4.0 mm厚的TA7板材。下料为4.0 mm×820 mm×680 mm。3片组焊。950 °C加热。包覆轧制至1.6 mm。800 °C成品退火。每3片一组叠在一起,上、下采用钢板包覆并封焊,制成叠轧包。轧制在1 200 mm四辊可逆式热轧机进行。

工艺B:多次冷轧工艺。热轧至4.0 mm厚的TA7板材。每个冷轧程变形量不能超过15%,进行3个冷轧程轧至1.5 mm,每个冷轧程中间经820 °C退火处理。800 °C成品退火。

1.3 测试方案

对1.5 mm成品板材进行800 °C, 1 h热处理。将两种工艺下的力学性能和组织进行分析,并进行极图和及ODF扫描。按照GB/228进行力学性能测试,按照GB/T232进行工艺性能试验。采用显微镜对材料组织进行观察分析。ODF在PHILIPS公司生产的X'PERT型X射线衍射仪(Cu靶)上进行测试, α 相测试(0001)、 $(10\bar{1}0)$ 、 $(10\bar{1}1)$ 、 $(10\bar{1}2)$ 晶面的全极图,只读取 $\phi_3=30^\circ$ 的组织组成,随后进行800 °C, 1 h热处理,对3种工艺下的力学性能和深冲性能进行测试,按照GB/228进行力学性能测试,深冲性能测试采用杯突试验。

表1 两种工艺得到的TA7合金板材的力学性能及深冲性能

Table 1 Mechanical properties and formation properties of TA7 sheets produced by two different processes

Process	Rolling			Annealed at 800				
	Mechanical property			Mechanical property			Bending test, $\gamma/^\circ$	Cupping test
	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_5/\%$	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\delta_5/\%$		
A	860	850	22	840	830	25	70	1.4
B	970	900	13	845	825	26	70	1.3

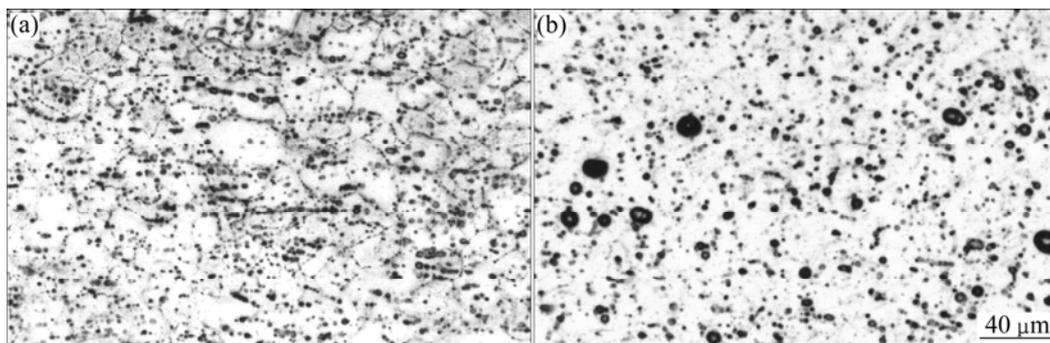


图1 两种工艺得到的经800 °C热处理TA7合金薄板的显微组织

Fig.1 Microstructures of TA7 alloy sheets annealed at 800 °C by two processes: (a) Process A; (b) Process B

2 结果与分析

2.1 成品性能及组织

2种工艺成品经过(800 °C, 1 h)+(600 °C, 5 h)热处理后,去除表面氧化层后,进行力学性能检测和组织分析,结果如表1和图1所示。

2.2 性能及组织分析

TA7钛合金是典型的密排六方晶体结构,晶体在变形过程中除了受到外部因素影响外,内部变形的难易程度取决于滑移面和滑移系,如图2所示。

密排六方晶格具有3个滑移系,体系立方晶格有12个滑移系,位错交互作用不强(见图3),这决定TA7钛合金的变形难度远大于其他类型钛合金的,特别是冷变形能力。滑移系少,滑移和位错运动要求外界提供更大的能量^[4]。热轧时,高温下又有应力加在晶体上时,在应力场和热激活的作用下,填隙原子和比基体原子大的代位溶质原子将从晶体的受压缩部分向膨胀部分迁移,定向扩散形变起到决定作用,多晶体晶粒间界处的结合削弱,相邻的晶粒可以在切应力作用下沿着晶粒间界相对滑动,变形抗力(σ)显著下降。包

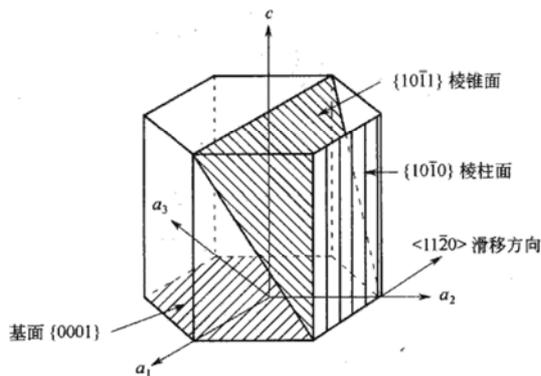
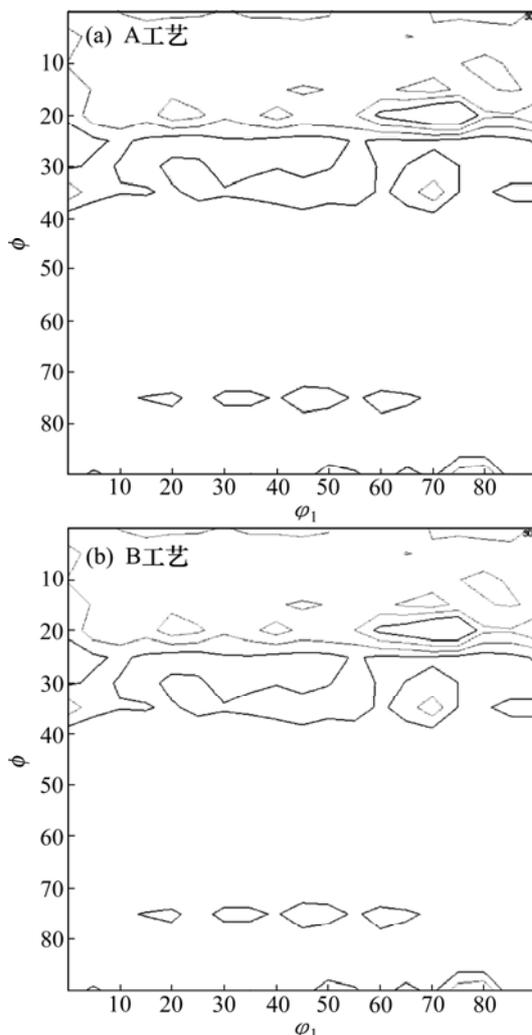


图2 密排六方晶格的滑移面和滑移方向

Fig.2 Slip plane and slip direction for close-packed hexagonal lattice

图3 2种轧制工艺轧制态板材的 α 相 $\varphi_2=30^\circ$ ODF截面图Fig.3 ODF photograph of α phase of TA7 sheets produced by two different processes ($\varphi_2=30^\circ$)

覆叠轧 A 工艺采用上下包覆 14 mm 的厚钢板。在钢板保温作用下,在 900 加热时,中间叠放的 TA7 钛合

金薄板可以稳定地在 880 左右轧制变形,这保证了 α 钛合金在过窄的两相转变区间均匀变形,有效地避免了裂边、起皮、甚至表面裂纹。包覆叠轧在两相区进行,在热加工变形的同时进行回复和再结晶,且终轧温度较高,热处理对其室温强度影响不大,热变形量可达到 60%,有效地改善变形的不均匀性,保证了成品板材的组织充分破碎。TA7 板材的组织为细小、均匀的等轴组织。

对于多次冷轧的 B 工艺,虽然每个冷轧程变形量较小,变形不充分,晶粒破碎不彻底,退火中再结晶不充分,但经过 3 个冷轧程后也得到了细小、均匀的等轴组织(见图 1)。对于 α 型合金,当成分不变时, α 相的晶粒尺寸不影响合金的强度和塑性,即不敏感^[4]。经 800 热处理后,两种工艺得到的板材室温强度相当。

2.3 板材织构分析

从钛合金制品的织构特征可以判断制品性能的方向性及大小趋势。对于 TA7 合金, α 相多在 80%以上,因此主要研究 α 相的织构特征,读取 $\varphi_2=30^\circ$ 的 ODF 截面框图可以简单、有效地显示形成的织构特征。根据织构研究的结论, α 相的 c 轴与板面的夹角越小,板材的织构越弱;当夹角为 0° 时,板材近似为“无织构”,这样的板材各向异性差异很小,具有优异的成型性^[1]。板材的深冲性能可以通过形成的织构特征来判断。此外,织构是否呈管状分布是判断织构“好”与“坏”的一个重要依据^[1]。两种工艺的板材的织构如图 3 所示,形成的织构基本相似, $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ 方向平行于轧制方向,而基面(0001)则同轧面成 $\pm 30^\circ$ 。两种工艺形成的织构都没有形成管状织构。这主要与两种轧制方式始终都采用单一方向轧制有关。织构类型基本相似也在一定层面反映出板材的工艺性能和深冲性能接近。这与试验结果相吻合。

3 结论

1) 对于冷变形能力很差的单相 α 型 TA7 合金板材,采用包覆叠轧以较大的变形量在两相区直接轧制成品,得到的板材具有细小、均匀的等轴组织,同时,有效地避免了裂边、起皮、甚至表面裂纹。

2) 与多次冷轧的 B 工艺相比,采用包覆叠轧 A 工艺轧制的 TA7 合金板材具有较好的室温强度和塑性匹配,并且具有较好的深冲性。

3) 两种工艺形成的织构类型相似,因此可以判断

板材性能的方向性及大小趋势。两种工艺形成的织构基本相似, $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ 方向平行于轧制方向,而基面(0001)则同轧面成 $\pm 30^\circ$ 。

REFERENCES

- [1] 张海龙, 庞洪, 王勤波, 卢佚, 王希哲. TA15钛合金薄板包覆叠轧工艺的织构特征及对性能的影响[J]. 金属学报, 2008, 34(s): 163-165.
ZHANG Hai-long, PANG Hong, WANG Qin-bo, LU Yi, WANG Xi-zhe. The texture characteristics of TA15 alloy sheet produced by pack ply-rolling and its effect on mechanical properties TA15
- [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2008, 34(s): 163-165.
- [2] 王希哲, 惠松骁, 叶文君, 于洋, 吕培成, 王俭, 王洪武. TA15钛合金热轧厚板的织构研究[J]. 金属学报, 2005, 34(增): 386-388.
WANG Xi-zhe, HUI Song-xiao, YE Wen-jun, YU Yang, LÜ Pei-cheng, WANG Jian, WANG Hong-wu. Study on the texture of TA15 titanium alloy hot-rolling plate [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2005, 34(s): 386-388.
- [3] B. K. 亚历山德罗夫, H CD 阿诺什金. 钛合金半成品加工[M]. 宁兴龙, 王国宏, 译. 稀有金属材料与工程出版社, 1996: 66-90.

(编辑 杨华)