TC4钛合金异形锻件锻造工艺探索

阎彩文，吴金满，许永光，王 晶

（中铝沈阳有色金属加工有限公司，辽宁 沈阳 110102）

摘 要：研究了两类锻造工艺对航天用TC4钛合金异形锻件的显微组织及拉伸性能的影响。其中Ⅰ类锻造工艺中第1火及第2火加热温度均在β单相区，Ⅱ类锻造工艺第1火加热温度在β相单区而第2火加热温度在(α+β)两相高温区。实验结果表明：Ⅰ类锻造工艺下最终得到具有粗大晶粒的片层组织，该类型组织强度及塑性均较低，不能满足指标要求；采用Ⅱ类锻造工艺即第2火加热温度在高温两相区且采用大锻造比可以获得条状α和细小等轴α构成的细小的混合组织，该组织具有较好的拉伸性能，满足指标要求。锻造时采用换向拔长镦粗的方式能保证异形锻件的宏观组织均匀。

关键词：钛合金；异形锻件；锻造工艺；显微组织

1 前 言

钛合金因具有比强度高、耐高温、耐腐蚀等优点，被广泛应用于航天、航空及船舶等领域，目前钛合金中应用最多的仍然是TC4合金。对于普通TC4钛合金锻件，生产工艺较为成熟，而航天某型号用TC4异形锻件质量较大，性能指标要求严格，锻造工艺比较复杂。需要在生产过程中对该异形锻件锻造工艺进行研究，总结出锻造工艺对锻件显微组织及力学性能的影响规律，从而制定出最合适的锻造工艺。

2 实验材料及方法

实验材料为TC4钛合金，其相变点为980 ℃ ± 10 ℃，主要合金成分见表1。铸锭规格为φ460 mm ×1 350 mm，首先在相变点以上温度1 165 ℃ ± 15 ℃范围内采用大变形量开坯，充分破碎铸造晶粒并使组织进一步均匀化，而后锯床下料。选用8件坯料进行锻造工艺摸索，坯料均由两火次锻造成型，并调节每火次的加热温度及变形量，考察加热温度及变形量对显微组织及力学性能的影响。锻件最终均在780 ℃保温处理1 h后空冷，观察各种锻造工艺下的显微组织，并测试其拉伸性能。

表1 实验用TC4铸锭化学成分(w/%)

Table 1 Chemical composition of TC4 ingot used(w/%)

Al	V	Fe	C	N	H	O	Ti
6.2	4.1	0.13	<0.10	0.02	0.002	0.07	余量

3 结果及讨论

8件坯料均采用两火次锻造成形，并调节每火次的加热温度，锻件最终均在780 ℃保温处理1 h后空冷，详细锻造工艺及锻件拉伸性能见表2。其中编号为1－4坯料第1火及第2火加热均在β单相区，且第2火加热温度稍低；编号为5－8的坯料第1火加热在β单相区，但第2火在两相区较高温度加热。因此可把编号1－4坯料工艺称为Ⅰ类锻造工艺，编号5－8坯料工艺称为Ⅱ类锻造工艺，两类工艺流程图分别如图1、图2所示。

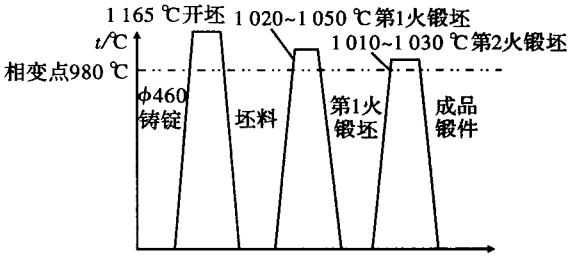


图1 Ⅰ类锻造工艺流程图

Fig. 1 Flow chart of forging process Ⅰ

收稿日期：2009－06－02

作者简介：阎彩文(1960-)，男，工程师，沈阳有色金属加工厂，主要从事有色金属加工，电话：024－89163293。

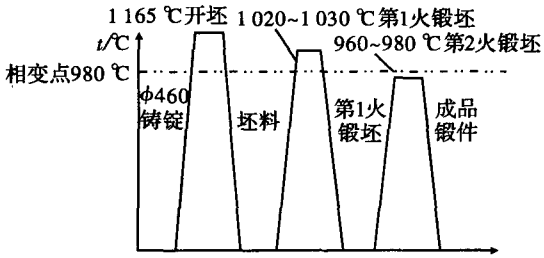


图 2　Ⅱ类锻造工艺流程图

Fig. 2　Flow chart of forging process Ⅱ

表 2 列出了不同锻造工艺及相应的锻件拉伸性能。由表 2 中的数据可以看出：采用Ⅰ类锻造工艺即两火次均在 β 单相区加热时，锻件拉伸强度及塑性均较低，部分试样拉伸性能不能达到指标要求；采用Ⅱ类锻造工艺即第 1 火单项区第 2 火两相区加热时，锻件强度及塑性均较好，所有试样拉伸性能均能达到指标要求，且有较大余量。因此可以得出Ⅱ类锻造工艺下锻件具有较好的拉伸性能。锻件性能决定于锻造工艺及其最终显微组织[1]，以下将讨论每火次锻造温度及变形量对显微组织及拉伸性能的影响。

表 2　不同锻造工艺及相应的锻件拉伸性能

Table 2　Different forging processes and corresponding tensile properties of forgings

锻造工艺	坯料编号	第 1 火温度/℃	第 2 火温度/℃	R_m/MPa	A/%	Z/%	残余应力/MPa	备注
	1	1 050	1 030	878	9	24	825	不合格
Ⅰ类锻造	2	1 040	1 020	892	9	24	825	不合格
工艺	3	1 030	1 020	907	11	24	832	不合格
	4	1 020	1 010	895	9	25	827	不合格
	5	1 030	970	917	12	27	838	合格
Ⅱ类锻造	6	1 020	970	917	12	28	837	合格
工艺	7	1 030	980	912	13	28	838	合格
	8	1 020	960	928	12	27	835	合格

3.1　锻造温度对显微组织及力学性能的影响

锻造过程中，加热温度、变形量及保温时间对锻件显微组织和力学性能有重要的影响[2-3]，其中第 1 火次锻造的目的主要是进一步细化组织及预成形，因此为减小变形阻力并且使变形均匀，两类锻造工艺下第 1 火次锻造均在单项区进行，而最后成品锻造温度即第 2 火次锻造温度对最终显微组织及力学性能具有重要影响。当采用Ⅰ类锻造工艺即第 2 火次锻造温度在单项区时，加热过程中 β 晶粒进一步长大，随后的锻造过程中晶粒得不到破碎，从而导致最终显微组织为具有粗大晶粒的片层组织。由于组织较为粗大，拉伸性能较低，不能满足指标要求。当采用Ⅱ类锻造工艺即第 2 火次锻造温度在两相区时，加热过程中第 1 火次锻造遗留下来的连续晶界及粗大片层得到破碎，并且锻造过程中晶界及初生 α 片层得到进一步球化，从而细化了显微组织，如图 3 所示。由于不存在连续的晶界，材料具有较好的拉伸性能，满足指标要求。

3.2　两相区第 2 火锻造温度及变形量的选择

由表 2 可以看出，能够得到较好拉伸性能的Ⅱ类锻造工艺加热温度均在高温两相区，距离相变点较近，该温度的选择也具有一定的原因。锻造过程中曾发现当第 2 火次加热温度在两相区较低温度且变形量较小时，锻件表面组织不均匀，局部具有粗大晶粒，且由于加热温度较低，表面出现较多裂纹。这是由于加热温度较低时第 1 火次锻造遗留下来的组织尤其是晶界不能完全细化，加之变形量较小最终得到的组织不均匀，且局部有粗大晶粒。而且加热温度较低时，锻造过程中锻件两端接触锤头导致温降较大，容易造成表面开裂。在两相区较高温度加热及采用大变形量时，能够细化成品显微组织，并使组织均匀，且不容易引起表面开裂。

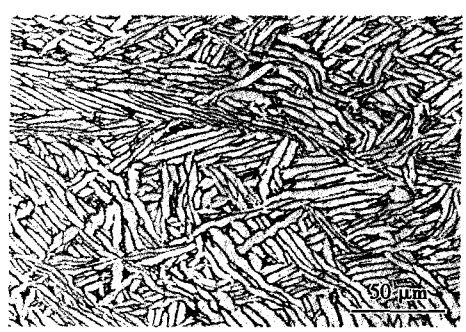


图 3　Ⅱ类锻造工艺下得到的 TC4 合金显微组织

Fig. 3　Microstructure of TC4 forging by process Ⅱ

4 结 论

TC4合金异形锻件显微组织及力学性能受到锻造工艺尤其是最后一火次锻造温度及变形量的强烈影响。坯料锻造成形时最佳工艺为两火次成形的锻造工艺：第1火次在β单相区加热变形，用于进一步细化组织及预成形；第2火次应在两相区较高温度加热，并且锻造时要求具有较大的变形量，目的是获得较细及均匀的显微组织，从而具有较好的力学性能。锻造时采用换向镦粗拔长的锻造方式，能够保证异形锻件具有均匀的宏观组织。

参考文献

[1] 王金友. 航空用钛合金[M]. 上海：上海科学与技术出版社，1985：137－153.
[2] 莱茵斯 C，皮特尔斯 M. 钛与钛合金[M]. 北京：化学工业出版社，2005：15.
[3] 鲍利索娃 E A. 钛合金金相学[M]. 北京：国防工业出版社，1986：235.

Influence of Abnormal Forging Processes on Microstructures and Tensile Properties of TC4 Alloy

Yan Caiwen, Wu Jinman, Xu Yongguang, Wang Jing
(CHINALCO Shenyang Non-ferrous Metal Processing Co., Ltd., Shenyang 110102, China)

Abstract: The influence of two abnormal forging processes on the microstructures and tensile properties of TC4 alloy is investigated. Forging process Ⅰ consists of two forging steps both in β phase region, and leads to lamellar microstructure with coarse β grain, which exhibits low tensile properties and cannnot meet the technical specifications. Forging process Ⅱ consists of first forging step in β phase region and second forging step in $\alpha+\beta$ phase region. Microstructure of abnormality by forging process Ⅱ consists of fine lamellar α and equiaxed α, which exhibits high tensile properties and can meet the technical specifications. The deformation way of compress-pull in different directions can be used to assure the uniformity of marostructure of forgings.

Key words: titanium alloy; abnormal forging; forging technology; microstructure

书 讯

《钛：天与地的儿子》即将出版

由潘廷祥著的《钛：天与地的儿子》将于年内出版发行。据悉，该书是我国第一本介绍钛及钛合金推广应用的科普读物。

作者是我国最大的海绵钛生产企业遵义钛业的职工，他是中国有色金属报驻企记者、贵州省作家协会会员，这就使得他能够用更为广阔的视野审视钛，审视钛工业的前景，这就有了他潜心耕耘的《钛：天与地的儿子》(由中国有色金属报"大潘说钛"专栏稿汇编而成)。

该书在静谧的夜空下，手捧香茗向人们娓娓述说钛的历史、成长、用途和将来，述说着钛的骄傲和神奇，展示着钛的智慧在人类智慧开启下步入国家大剧院殿堂的美妙，展示着北京奥运会夜空绽放的29个大脚印礼花中"钛花"映射满阶红的风采。

该书对钛的优异品质突出一个"说"字，通俗易懂，在"说"中像故事会一样讲述了钛的优异性能，介绍了钛及其合金所具有的广泛用途。

涉钛者、爱钛者、用钛者，不妨静心阅读《钛：天与地的儿子》，她会让你在一个个故事的牵引中感受第三金属钛的智慧，让你在说钛的文字里体验金属钛的魅力，让你在钛的优异品质中品味其金属的芳香。

该书由人民邮电出版社出版，定价30元/册。

(本刊通讯员)