

钛科学与工程

第七届全国钛及
钛合金学术交流会文集



2

TAI
KEXUE
YU
GONG
CHENG

中南工业大学出版社

钛科学与工程

第七届全国钛及钛合金学术交流会文集

(1)

6879 / 13

中南工业大学出版社

1990年12月10-14日 广州



157356

钛科学与工程
第七届全国钛合金学术交流会文集

文集编审、编辑组 编
责任编辑: 孙文川 崔祝屏

*
中南工业大学出版社出版
中南工业大学出版社发行

*
开本: 787×1092/16 印张: 42.75 字数: 1027千字 插页: 64
1991年1月第1版 1991年1月第1次印刷
印数: 0001-1000

*
ISBN 7-81020-331-2/TG·013
(1)(2) 册共定价: 29.00 元

第七届全国钛及钛合金学术交流会

组织机构

组织委员会

中国有色金属学会
中国有色金属工业总公司钛技术开发中心
稀有金属情报网
广东省有色金属学会

本届交流会筹办单位

广州有色金属研究院

执行委员会

主席	周克崧	广州有色金属研究院副院长
副主席	许嘉龙	上海钢铁研究所所长
秘书长	孙文川	广州有色金属研究院副总工程师
委员	马福康	北京有色金属研究总院院长
	张太贤	西北有色金属研究院副院长
	李志义	宝鸡有色金属加工厂副厂长
	李东	中国科学院金属研究所室主任
	陈博桓	沈阳有色金属加工厂主任
征文组负责人	孙文川	刘金兰

文集编审组

组长	孙文川	广州有色金属研究院
成员	周光爵	北京有色金属研究总院
	曹名洲	中国科学院金属研究所
	方平伟	上海钢铁研究所
	邓炬	西北有色金属研究院
	袁成安	宝鸡有色金属加工厂
	耿殿奇	东北工学院
	李棣泉	广州有色金属研究院
	谷兆彭	广州有色金属研究院

文集编辑组

组长	崔祝屏	张泽光	姜智勇	郭粤湘	蔡挺
成员	庞智	张全芳	毛广湘	蔡文宪	罗锐平
	袁洁				

出版说明

第七届全国钛及钛合金学术交流会征文组共收到来自全国 55 个单位的 226 篇论文。经编审组研究讨论，选出 190 篇论文编入文集，另有 30 篇论文以摘要形式收入。文集分 1、2 册出版，约 100 余万字。所有论文按内容分为 5 个部分，依顺序编排，没有前优后次之分。这些论文基本上反映了从 1987 年第六届钛会以后我国钛工业发展的水平和所取得的成就，是一本极有科学价值的资料。由于出版的限制，少数论文未能全文收入文集，有些论文的照片也作了删减，请有关作者谅解。

由于时间仓促，人力不足，加上编审人员水平有限，文集可能存在不少错误，敬请同志们批评指正。

文集编审组

目 录

第 1 部分 原材料、熔炼、铸造及加工

3000kN 液压机用钛合金等温精锻通用模具及结构特点

..... 王家宣 陈玉秀 杜忠权 袁宝岐 (1)

Ti-10V-2Fe-3Al 合金铣削工艺试验研究..... 魏翠燕 (4)

热拉 TiNi 形状记忆合金的自然时效现象 吴少慧 张金波 孙 序 杨凤芝 (8)

金属防热瓦用 TC₄ 钛合金箔材研制

..... 王庆如 傅作义 李小玉 庞书枕 韩伟东 董掌升 (11)

TB₂ 钛合金细丝的加工工艺研究 王 戎 张国才 倪小湘 李 泓 (16)

Φ518mmTi-1023 合金铸锭 Fe 偏析的控制 奚永庆 高 顺 王 皓 起 明 (18)

Ti-10V-2Fe-3Al 合金中铁宏观偏析的控制 姚锦声 曹建华 黄礼平 (21)

软阳模热成形工艺研究 陈春奎 杨建国 程秀全 蒋福田 (24)

航空发动机钛合金压气机盘等温锻造研究 李增强 劳金海 庞克昌 陈克修 (27)

氢对 Ti6Al4V 合金热塑性的影响 张 浩 许嘉龙 王世洪 林天辉 翁文达 (30)

Ti-1023 合金热加工与力学性能的关系 俞汉清 周义刚 张伯禄 师建生 (32)

Ti-10V-2Fe-3Al 钛合金 Φ120mm 棒材的热加工工艺

..... 朱益藩 杨 昭 丁志文 张 茜 (36)

我国首批出口钛合金精密铸件的研制 程杏梅 闫洲林 (39)

蜡模拼合技术在大型钛铸件方面的应用 肖锡云 周彦邦 (42)

低温钛气瓶成型工艺的研究 孔祥震 (44)

钛屑回收工艺的改革及评价 段家祿 (47)

带复杂型腔孔钛合金支板精铸件的研究 程杏梅 谢成木 (52)

TC₄ 厚壁长管材精锻试制 韩泽龙 胡宗式 李成刚等 (55)

钛精铸件表层组织分析 王小娥 (58)

PBN 坩埚在钛铸造上的初步应用 姚世义 文 杰 赵凤鸣 (61)

TC₄ 精锻叶片研究 胡 平 (63)

TC₁₁ 钛合金叶片精锻 张鉴奇 (66)

TC₁₀ 钛合金管材热加工工艺研究 栗喜君 (70)

钛铸件的设计 谢成木 (74)

论提高我国海绵钛质量的途径 徐 博 (77)

镍钛合金的技术开发及应用 徐 发 (81)

还原蒸馏联合法制钛 黄森麟 李玉华 曹雪芬 邹天龙 (84)

Ti-6Al-4V 紧固件的温敏 赵 志 刘凤雷 (92)

Ti55 合金挤压工艺研究 郝树本 史战旺 (95)

第2部分 粉末冶金、爆炸复合及焊接

粉末热挤压 Ti32Mo 合金的性能	廖际常 杨文龙 李甫波 张宝惠 (99)
烧结 Ti32Mo 合金的致密化与均匀化	廖际常 杨文龙 李甫波 张宝惠 (102)
钛/不锈钢热等静压扩散焊结合层研究	张英才 赵连仲 (105)
钛与镍固态下焊接	梁亚南 王者昌 李晶丽 郑凤珍 斯重遥 (108)
舰船用主循环水钛合金接管的焊接研究	蒋成禹 汪汀 严铿 (111)
氢在 TC ₄ 钛合金焊接时的行为	王者昌 郑凤珍 白良谋 李晶丽 刘树望 (115)
高温高压水溶液中钛及钛合金的吸氢特性	胡耀君 刘果宗 蔡学章 陈春和 崔桂云 严中令 (118)
用于发动机壳体的 TB ₂ 钛合金焊接性能和工艺研究	卓忠玉 俞来源 马天农 朱兴元 胡国平 陈海珊 (121)
钛合金焊接角变形量的计算	严铿 蒋成禹 (124)
松装烧结多孔钛板	曾剑波 吴诚萍 邱培民 黄水旺 (127)
新型射流喷咀的研制及应用	邱培民 吴诚萍 曾剑波 黄水旺 (131)
超塑状态下钛合金 TC ₄ 扩散连接研究	张中元 蔡承妹 林兆荣 (135)

第3部分 腐蚀、防护、成形制造

超声波探伤仪中数字式报警单元的研制	简大元 (139)
抗钝化钛合金阳极研制和工业应用	方平伟 胡五玉 (142)
Ti-Ni 合金涂层性能的研究	周克崧 王德政 冯碧洸 杨大君 曾爱群 戚培毅 (145)
低压等离子喷涂 (LPPS) Ti-Ni 合金涂层工艺的研究	王德政 周克崧 杨大君 曾爱群 王建荣 施洪波 (149)
表面处理对 Ti-0.3Mo-0.8Ni 合金耐蚀性的影响	吴清枝 李佐臣 吴以琴 王卫民 (153)
计算机辅助优选 Ti-10V-2Fe-3Al 合金的等温锻造工艺参数	杜志权 王益民 陈玉秀 王高潮 (156)
Ti-22 航空螺栓的制造、性能及应用	张树启 谢丽英 朱玉斌 梁仪志 李生安 崔步巍 李玉堤 (160)
Ti-75 合金在人造海水中的耐蚀性	吴清枝 李佐臣 王卫民 (163)
Ti-5Al-4Mo-4Cr-2Sn-2Zr 合金盘件的制造工艺和力学性能的研究	张荣顺 曹春晓 钟天纺 (166)
TC ₄ 合金的微动疲劳及其防护工艺	叶斌 王洪洪 梁佑明 沈桂琴 (169)
用 Ti-451 合金制造薄壁压力容器	吴以琴 胡文英 葛文华 丛君民 曹继敏 (173)

薄壁钛焊接管制造工艺的研究.....	耿庆余	(176)
Ti-451 合金吹塑成形铸铁模受力分析及等强度模具设计准则	朱水兴 杨振恒 龚义吉	(179)
47121 β 钛合金与不同材料接触的电化学腐蚀	汪建林等	(185)
生产薄壁钛焊接管卷管孔型的研究.....	耿庆余	(188)
TC ₁₁ 钛合金微动磨损防护研究	贾春义 王世洪	(191)
钛在离子镀过程中的蒸发特征.....	张学华 邹 鸿 周国治	(194)

第 4 部分 合金化、组织、性能

Ti-Al 系金属间化合物的进展.....	颜鸣皋 曹春晓	(201)
Ti-6Al-4V 合金氢化引起相变的 X 射线研究	官 波 徐振声 赖祖涵	(206)
Ti-6Al-4V 高温氢化处理产生的组织细化的研究	官 波 徐振声 赖祖涵	(209)
含氢 TC ₄ 钛合金的高温拉伸行为	徐振声 官 波 张彩培 赖祖涵	(211)
Ti-15-3 合金的室温拉伸变形和织构	罗国珍 谢丽英 朱玉斌 王世洪 梁佑明 沈桂琴	(214)
三种钛合金的界面相.....	耿殿奇 魏海荣 蒋 敏 丁进军 韩传望 刘炳南	(220)
激光处理对钛的显微组织和性能的影响.....	徐振声	(222)
Ti-5Al-2.5Sn 合金低温拉伸与形变断裂研究	陈 廉 邵玉霞 曹晓晖	(226)
Ti-12.7Al-19Nb 合金的组织结构分析	张启海 周光爵 脱祥明 俞仲祥	(228)
添加 Nb 的 Ti ₃ Al 基合金 X 射线相分析.....	孙 序	(230)
各向异性钛板屈服判据的实验评价	刘东兴 李凤陵 曾晓英 石玉峰 刘润泽	(233)
钽对工业纯钛中氧内耗峰的影响.....	耿殿奇 魏海荣 董文卜 李长业 张立德	(237)
不同显微组织的 TC ₁₁ 钛合金盘的疲劳—蠕变特性	周 煜 周义刚 俞汉清	(240)
热处理对 Ti-451 合金板材显微组织和机械性能的影响	胡文英 邓 炬 谢丽英 陈双才	(242)
730MPa 级高韧船用钛合金的研制.....	李佐臣 吴清枝 王为民 吴以琴	(244)
热处理工艺对 Ti-633G 合金组织及性能的影响	杨冠军 邓 炬 吴之乐 陈杜娟	(247)
等强度热处理的 TC ₁₁ 钛合金高温低周疲劳特性研究	孟 亮 张宝昌 姚水波 肖长缨	(250)
飞行事故记录仪 Ti-451 壳体拉深成形	杨建国 陈春奎 蒋福田 程秀全	(254)
钛板的织构强化及其在压力容器制造中的应用.....	张德荣	(257)
TC ₁₁ 钛合金锻造工艺与显微组织的关系	苏祖武 孟国文 郭鸿镇 刘建超 姚泽坤 杨昭苏 胡宗式	(260)
吸氢和金相组织对 Ti17-Nb 合金的热稳定性影响	黄礼平 张立建	(263)
钛—氢系的热力学, 相变及性能.....	赖祖涵	(266)

热处理对牙齿矫形用 Ni-Ti 形状记忆合金特性参数的影响

.....	沈 龙 周光爵 于淑健	(279)
TC ₁₁ 合金双态组织中等轴 α 量对性能的影响	卢克让	(284)
Ti-1023 合金热压流变应力的研究	彭益群 潘雅琴	(286)
钛材离子氮化工艺对其组织结构和性能的影响	胡佑峙 戴达煌 吕帝康 董燕玲 黎文宪	(289)
α -Ti 在拉伸中的电致塑性	赖祖涵 刘丕林 张彩培 马常祥 张嘉敏 刘勃然	(296)
离子注入对 Ti-6Al-4V 合金腐蚀疲劳行为的影响	张大伟 于维成 王中光	(299)
Ti ₃ Al-Nb 合金组织结构与性能研究	张树文 李 东	(302)
Ti ₃ Al 基合金氧化行为的研究	虞炳西 秦荣士 李 东	(306)
近 β 型钛合金 Ti-5Mo-5V-2Cr-3Al 中的 ω 相	陈玉安 何泽福 刘安生 张 翥 李永洪	(309)
热处理对 Ti-6Al-3Nb-0.8Mo 合金组织和性能的影响	曹福辛	(311)
冷加工对 TiNi 合金记忆性能的影响	郭锦芳 成玉英 朱 明 沈 龙	(314)
γ -TiAl 合金的组织与变形特征	曲选辉 孔祥炎 黄伯云 钱 源 吕海波 黄培云	(319)
开坯锻造工艺对 BT3-1 轧棒组织的影响	张伟卫 丁志文	(321)
TA ₁ 薄壁焊管的内应力研究	陈 克	(355)
硼和钾对高温钛合金性能和组织的影响	许嘉龙 张津徐 陈克修 葛红林 陈国良	(358)
钛合金氢脆机理的实验验证	万晓景	(365)
组织对 TA ₁ 钛带性能的影响	郑震清	(370)
钛合金的氢化热处理	杜春青 张宝昌	(374)
TC ₄ 钛板超塑成形后的机械性能	林兆荣 章伟承 韩秉强	(377)
氢对 Ti-Y 合金组织影响的研究	魏海荣 宋 丹 耿殿奇 张 继	(380)
7715 钛合金的超塑形变力学行为与形变激活能	崔保坤 陈克修	(382)
应变速率循环对 Ti-10V-2Fe-3Al 合金超塑性的影响	王高潮 杜忠权	(385)
铝含量对快速凝固钛—铝金属间化合物点阵参数的影响	韩 东 曹名洲 李 东	(389)
Ti50Ni45Cu5 记忆合金可逆应变能与热循环温度的关系	李永森 金永柏 于荣海	(393)
钛铝合金多孔阳极的电容特性	蔡一湘 时 民 钟国飞	(396)
轧制和退火工艺对 TA ₁ 薄板的拉伸性能及 n 、 r 值的影响	陈 竞 潘雅琴 易孟阳	(400)
Ti ₃ Al 基合金的相成分与室温拉伸断裂研究	邹敦叙 贾天聪 王 斌 马惠萍	(404)

Ti-15-3 合金的拉伸变形及冷压成形特性

..... 王世洪 梁佑明 沈桂琴 罗国珍 谢丽英 (406)

激光自淬火钛合金的热流计算和枝晶间距与冷速间关系

..... 张 奇 章靖国 蔡新兴 许嘉龙 王世洪 (410)

氢对 TC₁₁ 钛合金超塑性能的影响 高 文 张少卿 (413)

NiTiNb 宽滞后记忆合金的研制

..... 彭益群 千东范 高宝东 张春生 蔡 伟 赵连城 (417)

新型耐热合金—TiAl (γ) 化合物综述 张国才 (420)

含 Gd 高温钛合金—Ti-633G

..... 邓 炬 吴之乐 杨冠军 陈杜娟 黄汉良 郑月秋 段文森 罗国珍 (424)

近 β 型高强高韧钛合金研制介绍 张 翥 陈海珊 郝瑞欣 (427)

船用结构钛合金的研究..... 曹振新 毛彭龄 许嘉龙 邓永瑞 (432)

钛系多元储氢合金的研究..... 曾泉满 伍本德 毛小南 (436)

含钒 Ti829 的蠕变速率变化规律..... 段文森 黄汉良 郑月秋 (440)

钛合金的超塑性温度与相转变温度的关系..... 黄礼平 (443)

多弧离子镀沉积 TiN 及其抗氧化性能

..... 叶锐曾 杨凌华 于文秀 孙庆标 葛占英 黄亚丽 (446)

Ti-5Al-2Mo-3Zr 合金中马氏体的脱溶

..... 邓永瑞 秦泽华 曹国英 李四清 (450)

氢对 Ti-1023 合金组织和性能的影响

..... 张 浩 许嘉龙 王世洪 林天辉 翁文达 (452)

氢对 β 钛合金热塑性的影响 张 浩 许嘉龙 王世洪 林天辉 翁文达 (454)

循环热处理对钛合金魏氏组织拉伸性能的影响

..... 孟 亮 张宝昌 杨 锴 郭云霞 (456)

Ti-0.3Mo-0.8Ni 合金在海盐化工生产上的应用 孙德起 (460)

TC₁₁ 合金的高温蠕变研究 崔树国 邹军军 戴 华 (462)

增速拉伸对 Ti-451 合金超塑性变形的影响 朱永兴 龚义吉 杨振恒 (467)

Ti-10V-2Fe-3Al 合金热变形的研究..... 彭益群 潘雅琴 (471)

Ti-10V-2Fe-3Al 合金大规格棒材的热处理工艺及其组织和性能

..... 杨 昭 朱益藩 张茜 (474)

轧制工艺对 TA₇ 合金组织和高温成形性的影响 易孟阳 (477)

Ti-10V-2Fe-3Al 合金 β 斑点研究..... 周义刚 俞汉清 张恒毕 徐好义 (479)

第三合金元素对 TiAl 基合金的结构和性能的影响 曹名洲 韩 东 李 东 (481)

辉光离子镀钛的研究..... 周 熔 杨振东 古风英 邓永瑞 (484)

铈和稀土元素对 Ti₃Al 基合金显微组织和性能的影响

..... 脱祥明 周光爵 张启海 俞仲祥 李 阳 (486)

不同 Si 含量对耐热钛合金 (7715C) 性能及组织的影响

..... 罗月新 许嘉龙 陈克修 (488)

Ti₃Al-Nb 合金位错滑移与裂纹扩展的动态观察

..... 关少轩 周 敬 李 东 (492)

形变对 Ni₄₇Ti₄₄Nb₉ 合金相变滞后和形状记忆效应的影响

..... 张春生 蔡 伟 赵连城 千东范 彭益群 高宝东 (494)

用 J_R 阻力曲线研究几种钛合金的断裂韧性

..... 吴以琴 李佐臣 吴清枝 王卫民 (497)

Ti-1023 合金热变形研究 傅作义 王金友 (501)

TA₁ 带材织构的研究 杨文甲 (504)

固溶处理温度对 Ti₃Al-Nb-Mo-V 合金微观组织和变形的影响

..... 王顺才 李春志 高 扬 曹春晓 颜鸣皋 (506)

Ti-1023 钛合金的直接时效研究 王金友 (508)

Ti-15-3 合金的超塑性 潘雅琴 杨昭苏 (513)

稀土元素 Gd 对 IMI-829 合金组织及综合性能的影响

..... 吴之乐 邓 炬 杨冠军 陈杜娟 (516)

热变形对 Ti-10V-2Fe-3Al 合金的组织及拉伸性能的影响

..... 沈桂琴 王世洪 梁佑明 傅作义 王金友 (520)

加荷方式对钛合金蠕变性能数据的影响 肖巧莲 (523)

工业纯钛的力学性能 王桂生 (526)

TC₄ 钛板超塑性胀形中厚度控制问题的研究... 黄 翔 苏桂柱 林兆荣 张中元 (530)

航空用 Ti-22 合金螺栓头部粗大组织的研究 谢丽英 张树启 朱玉斌 (535)

强化热处理改善 TC₄ 钛合金半成品性能的研究

..... 孟祥康 俞汉清 周义刚 张恒毕 刘润农 徐好义 (537)

Ti-14Al-21Nb 合金超塑性的初步研究

..... 张 鹰 马济民 李学明 曹春晓 (540)

Ti-53311S 合金的蠕变和热稳定性的研究 韩传玺 张仁岐 (542)

铝钒钛合金价电子结构及其对相变动力学的影响 葛红林 张津徐 (546)

确定 TC₄ 钛板超塑性成形时的 m 和 n 值 章伟承 林兆荣 (549)

航空紧固件用 Ti15-3 合金的机械性能和组织特性 张国新 张树启 倪沛彤 (555)

Ti-55 合金的热稳定性及其控制

..... 刘羽寅 李 东 管晓华 曹春晓 孙福生 高 杨 (557)

关于 TC₆ 钛合金 α 相形态变化行为的研究 张志方 刘战胜 (561)

Ti-5Mo-5V-2Cr-3Al 合金中的相变 张 翥 刘安生 陈玉安 (563)

Ti₃Al 基合金显微组织研究 刘俊琴 周光爵 (566)

Ti₃Al 基合金室温塑性和持久性能的研究 孙福生 郭超琪 曹春晓 (569)

一种 Ti₃Al 基合金的拉伸断裂特征... 高 扬 张荣顺 曹春晓 郭 灵 钟天纺 (571)

Ti-10V-2Fe-3Al 合金的超塑性力学行为 杜忠权 王高潮 陈玉秀 (573)

Ti-5Al-2Nb-3Zr-1Mo 合金中界面相研究 毛彭龄 许嘉龙 邓永瑞 (578)

β 处理的 TC₆ 钛合金显微组织和拉伸断裂特性 林永新 胡跃君 (581)

Ti55 合金的显微组织与高周疲劳断裂特征 ... 孙福生 曹春晓 李 东 刘羽寅 (584)

$\alpha+\beta$ 两相钛合金超塑性流变的微观机理研究.....	赵林若	张少卿	(587)
TC ₁₁ 钛合金盘的显微组织、断裂形态及断裂韧性间的关系	庞韵虹	周义刚	俞汉清 (589)

第5部分 钛的应用

我国歼击机机体应用钛结构的新发展.....	乔宜文	穆汉民	夏绍玉 (593)
TC ₄ 挤压管在石油勘探和开发测井仪外壳上的应用研究	杨晓明	刘润泽	郝德荣 仇鸿林 温海津 熊正中 杨立诚 (595)
镍钛形状记忆合金在疝症治疗中的应用.....	陈海东	高钢强	苏源德 (600)
7715C 高温钛合金在航空发动机上应用研究简介.....	王彰默		(601)
Ti-12 用于黑卤制盐首效的腐蚀研究.....	李俊聪等		(606)
2 万片微孔钛发泡板的研制及用于心脏直视手术的分析	郑国强	宋春福	邱二宝 (609)
应用钛合金支架修复下颌骨缺损的临床观察.....	隋良朋	董 辉	朱宣智 (611)
NiTi 形状记忆合金在消防报警探测器上的应用	秦桂英		(612)
我国钛粉的应用情况.....	陈 平	赵 峰	方正伟 杨凯珍 (615)
θ 指数法在钛合金中的应用	张津徐	许嘉龙	陈国良 (618)
国外钛在非航空工业应用现状.....	王宗贤		(623)
钛制压力容器的强度设计问题	李冈陵	曾晓英	苏利文 刘东兴 石玉峰 刘润泽 崔树屏 杨爱珠 (627)
TB ₂ 钛箔隔热板的研制.....	程秀全	陈春奎	杨建国 蒋福田 (632)
汞回收中新型活性钛阳极的研究.....	袁令仪等		(635)
复合多孔钛人工髋关节的研究.....	伍本德	郭福合	(638)
舰船结构钛合金的优化设计.....	陈春和	李书杰	(642)
Φ1508 无缝钛阴极辊筒的研制.....	刘洪义	宋敏奇	杨同春 车承金 (647)
高压防硫采气井口用新型平板阀的研制与应用	胡佑树	戴达煌	吕帝康 董燕玲 黎文宪 王秦晋 (649)
54422 三高钛合金在医用超声粉碎机上的应用	黄礼平	张立建	(654)
歼击机动力装置 90 年代用钛的预测与新的钛基材料选用	刘元春	王彰默	(656)
高韧性钛合金 Ti-451 在飞行事故记录仪上的应用	邓 炬	胡文英	谢丽英 (658)
钛合金超塑成形构件的质量分析.....	王纯孝	侯冠群	肖新章 (661)
钛合金疲劳安全寿命的研究.....	张志仁		(664)
钛制氯化铵蒸发器的应用研究.....	仇鸿林	郝德荣	杨晓明 刘润泽 (669)

第6部分 摘要

用组合钢模芯冷等静压成型制取钛截止阀异形件的探讨.....	丁 健	张 锋	(671)
-------------------------------	-----	-----	-------

Cu 元素对 NiTi 合金马氏体相变的影响	于荣海 李永森 孙 晶 (671)
TA ₂ 热交换器的研制及其在心脏直视手术中的应用	
..... 郑国强 李玲秋 秦志端 李兆志 樊庆成 崔树屏 李 滨 谷滨京 (672)	
Φ660mmTA ₂ 高标准纯钛锭铁、氧含量控制的工艺研究	
..... 张杏观 金 鑫 胡志仁 张德昭 朱益藩 (673)	
粉末钛合金的疲劳断裂.....	郑月秋 唐仁波 (674)
显微组织对 Ti22 合金疲劳性能的影响	蒙 良 张树启 谢丽英 朱玉斌 (675)
Ti ₃ Al 基金属断口分析	孙丽虹 周光爵 脱祥明 张启海 (675)
显微组织及拉伸塑性对 TC ₁₁ 钛合金断裂韧性及裂纹扩展速率的影响	
..... 刘锡江 张宝昌 何 明 (676)	
钛合金的电化学研究方法.....	许昌淦 刘 屏 (677)
TC ₆ 钛合金高温力学特性.....	陈玉秀 余植中等 (678)
两相钛合金应变-时效效应的研究	陈玉秀 王高潮 万联耀 (679)
TC ₄ 合金在 200℃ 时的蠕变和持久性能特征	王孔探 肖巧莲 (679)
微孔钛种植体的实验研究及临床应用	
..... 肖光裕 郭庆科 李俊良 南 平 唐文杰 张正德 崔永福 伍本德 (680)	
冷速对 TC ₁₁ 合金高温 β 相析出过程的影响	
..... 李晓芹 江 一 俞汉清 周义刚 (681)	
Cu 含量和热处理制度对 TiNiCu 形状记忆合金特性的影响	
..... 朱 明 郭锦芳 沈 龙 成玉英 (681)	
制退器用 TC ₄ 锻棒性能的研究	杨文甲 (682)
钛板的焊接实践.....	徐重远 (683)
Ti-12 合金在含氢高温水中的氢蚀	丁永峰 严中令 陈春和 (683)
添加 Nb 的 Ti ₃ Al 基金属 X 射线相分析.....	孙 序 (684)
Ti-3Al-2.5V 航空导管使用性能.....	夏绍玉 (684)
钛种植体复合骨形成蛋白的初步实验研究.....	王 翔 周树夏 杨连甲 金 岩 (685)
镍钛合金无绞链人工肘的设计和临床应用.....	郭文正 杨继伟 徐岳林 杨海波 (686)
TC ₆ 合金锻后渗碳的初步探讨.....	余植中 冯又欣 (686)
国外钛工业四十年的经验与教训.....	任铁梅 赵长明 (686)
管材超声波渐开线探头.....	郑开胜 刘景忠 陈玉成 马小怀 (687)
加热后的 TA ₂ 材机械性能和耐腐蚀性能的变化	王德林 李殿君 宋恩才 (687)
TiN-Si ₃ N ₄ 复合陶瓷无压烧结成相规律的 X 射线研究	王超群 石云华 (688)
低价氧化钛和钛汞齐的无标定量相分析法.....	陈洪育 高玉琴 (688)
开拓前进研制钛设备.....	陈丽珍 (689)
Ti ₃ X 相析出的电子浓度规律	万晓景 经开良 史 文 尤 杰 张 丙 (689)

3000kN 液压机用钛合金等温精 锻通用模具及结构特点

王家宣 陈玉秀 杜忠权 袁宝岐

(南昌航空工业学院)

等温锻造是变形金属在锻造温度恒定的条件下成形。这种恒温条件，是由带有加热保温及控温系统的模具所保证，采用这种等温成形方法可使金属塑性大大提高，变形抗力大幅度下降（约为普通模锻力的 $1/5 \sim 1/10$ ）。等温锻造严格地分，可分为两类：一是等温普通模锻，即金属在等温条件下锻造，得到有较大余量及斜度的锻件。这种方法只考虑解决难变形金属的成形问题，也是最初等温锻工艺研究所要解决的问题；二是等温精密模锻，即在等温条件下锻造，得到小斜度或无斜度、小余量或无余量的锻件，这种方法可以生产一些形状复杂、尺寸精度要求一般、受力条件要求较高的零件。采用后一种方法可以减少大量的机加工工时，同时节省锻件材料消耗，尤为适于钛合金锻件。为此，我们设计并制造了 3000kN 液压机用钛合金等温锻模具，并用于试验及产品试制。

1 等温锻模具总体结构

用于等温锻造的模具具有各种形式，但不管采用那种形式，其模具整体都是由五大部分组成，即上下模座、可换凹模、加热装置、控温装置、隔热保温装置等。由于航空产品批量小种类多的特点，要求模具要具备通用性，在使用时只对凹模进行更换，以此减少模具费用投资，提高模具使用效率。根据这一要求，我们设计了 3000kN 液压机用等温锻通用模具，见图 1 所示。

模具由上下水冷板 15、1、上下安装板 14、2、上下安装板 13、3、上下模座隔热层 12、4、上下模保温罩 11、5、加热器 6、下模座 7、组合凹模 8、操作口 9、上模座 10、活动压块 16、凹模垫板 17、热电偶 18、顶杆 19 等组成。

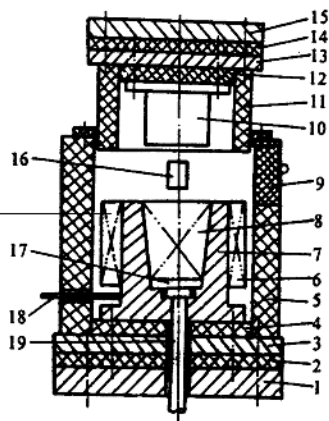


图 1 等温锻模具

2 模具特点

(1) 通用性好, 即按 3000kN 液压机最大工作压力所能锻出的最大锻件的投影面积 F , 折算成方形 $a = \sqrt{F}$, 取其对角线长 L 加上组合凹模最小壁厚 S' 作为模座内孔尺寸 D_2 , 在此基础上根据强度理论确定模座壁厚 S , 最后便得到模座外径 D_1 为:

$$D_1 = D_2 + 2S = L + 2S' + 2S, \text{ 见图 2 示。}$$

(2) 带活动压块的分离式组合凹模, 根据锻件的形状, 取合理的分模位置, 可锻出形状复杂的锻件。采用活动压块, 解决了固定式上模与下模的定位导向问题, 简化了模具结构。组合凹模外锥为 5° , 与模座锥孔配合好, 易对位, 分模面间隙小。成形结束后, 顶杆将其顶出, 在分模板上分模, 取出锻件。图 3 为飞机用 Ti-1023 护板接头锻件及组合凹模示意图。

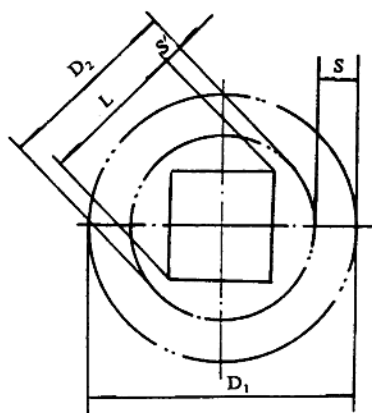


图 2 下模座尺寸关系示意图

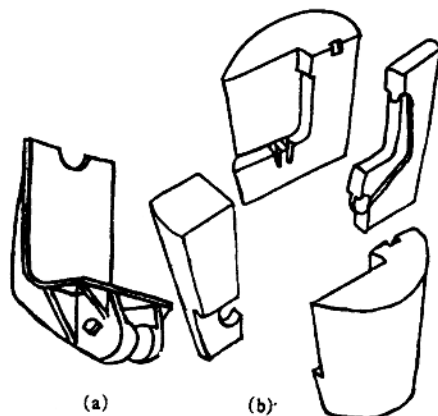


图 3 接头锻件及组合凹模示意图

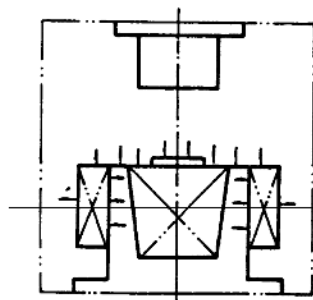


图 4 模具的加热示意图

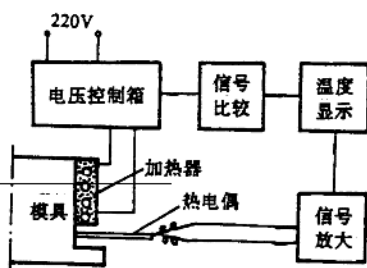


图 5 加热时温度显示及控制原理方框图

(3) 整个模具采用一个加热器下模加热, 结构简单便于制造、安装和使用, 热效率高。这是由于采用了活动压块可分式组合凹模, 其均在下模座内加热, 上模座温度虽低于下模座, 但不影响金属的成形。加热装置采用电阻丝加热元件, 功率为 12kW。图 4 为模具的加热示意图。

(4) 采用热电偶测温, ZWK 型单相可控硅控温仪控温, 控温精度为 1%, 设计升温时间为 2h, 根据下模温度场分布, 将热电偶从保温罩外插入到下模座外表面, 来控制组合

凹模的工作温度，不需在下模座受力部位钻测温孔，避免了模具在高压下可能发生的开裂。图 5 为加热时温度显示及控制原理方框图。

3 模具的保温与隔热

由于等温锻大都在变形速度较低的液压机上进行，设备的使用必须考虑模具传热的影响，如果模具保温隔热不好，不但影响设备的正常工作，而且还直接影响到模具本身的工作效率。为此，在参考了国内外等温锻模具隔热方法的基础上，在选用绝热材料及结构安排方面具有独特性。

3.1 材料选择

因为模具分保温与隔热两部分，而工作温度在 850°C 以上，目前能适用于这种条件的绝热材料为硅酸铝纤维棉和毡。将松散的、导热系数小的纤维棉置入保温罩中，保温罩厚度由设计确定，模具在 900°C 时一般厚度为 120mm 。由于隔热层采用了高效隔热新结构，除选用硅酸铝毡外，根据温度区域要求不同，还选用了不锈钢板、金属丝网和高压橡胶石棉板。

3.2 隔热层及结构

等温锻模具能否正常工作，其隔热是非常关键的。采用高效率的隔热方法，不但能保证模具的稳定工作温度，降低功率消耗，而且可使模具结构更紧凑、更稳定。隔热层分布采用上下模各两层（见图 1），这两层的温度不同，与模座接触的 A 层温度较高，一般在 800°C 以上，采用不锈钢板、硅酸铝纤维毡、高压橡胶石棉板层叠压合后使用，见图 6a；安装板与水冷板之间的 B 层温度较低，一般在 500°C 以下，采用了高压橡胶石棉板、金属丝网、硅酸铝纤维毡层叠压合后使用，见图 6b。A、B 两层厚度按硅酸铝毡供应状态下的导热系数计算确定，这是因为隔热层多种材料层叠后增加了热阻面，在 B 层采用了金属丝网，增加了空气绝热层，所以，综合导热系数接近于硅酸铝纤维毡。装配时应根据设备最大压力 P_{max} 、工作压力 $P_{\text{工作}}$ 来确定预压力 $P_{\text{预压}}$ ，即取 $P_{\text{max}} > P_{\text{预压}} > P_{\text{工作}}$ ，并按 B、A 层先后装配，螺栓拉紧。

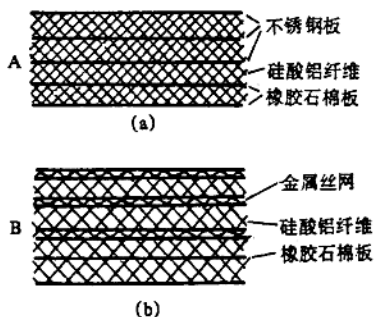


图 6 A、B 隔热层示意图

4 结 论

(1) 模座材料选用 K_3 或 K_{12} 合金，组合凹模可根据锻件精度、复杂程度、批量大小及工艺要求，选用合适的变形高温合金或陶瓷材料。

(2) 该模具为封闭式加热，模具温差小，温度场稳定，可保证钛合金锻后组织要求。

(3) 加热装置简单、造价低，便于使用及更换。但在大于 5000kN 的液压机上，由于加热装置功率较大，安装空间较小，不易采用电阻丝加热，建议采用工频感应加热。

(4) 隔热层新结构，可用于温度要求更高的黑色金属等温锻模具。

Ti-10V-2Fe-3Al 合金铣削工艺 试验研究

魏翠燕

(沈阳飞机制造公司)

为提高飞机寿命,减轻飞机结构重量需要尽快将 Ti-10V-2Fe-3Al 合金用于飞机构件上,因此我们对该合金进行了铣削试验研究。

1 铣削试验条件

(1) 铣床 X53K 万能立式铣床,功率 10kW,有较大范围的有机调速机构。

(2) 刀具

端铣刀: YG8 硬质合金机夹端铣刀,立铣刀: YG8 硬质合金螺旋立铣刀; W18Cr4V 普通高速钢螺旋立铣刀; M42 高钴高速钢螺旋立铣刀。

(3) Ti-10V-2Fe-3Al 合金,选择两种热处理状态: (a) 740℃ 固溶+510℃ 时效处理; (b) 740℃ 固溶处理。

(4) 切削液 苏州产的 1[#] 金属切削液。

(5) 铣削方式 立铣: 圆柱铣刀等以圆周齿切削铣削时有两种铣削方式,即逆铣和顺铣,见图 1。

逆铣: 铣刀的旋转方向和试件的走刀方向相反,切削厚度由小变大,也就是切屑由薄变厚,见图 1b 所示,所以逆铣时切屑容易粘在切削刃上,当粘屑的刀刃再切入试件时,切屑会挤压在刀刃和试件之间,使刀齿加快磨损或崩刃,降低刀具耐用度。

顺铣: 铣刀的旋转方向和试件的走刀方向相同,见图 1a 中所示,顺铣时是切削厚度

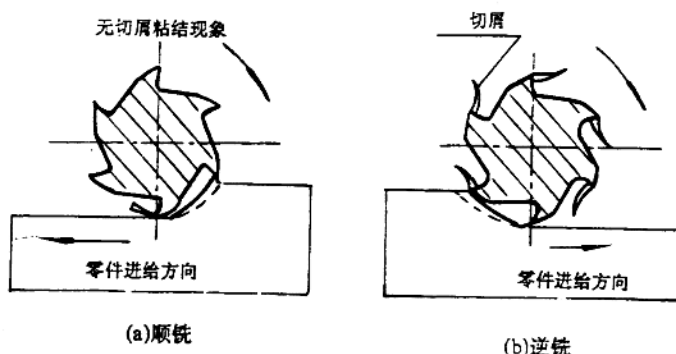


图 1 铣削方式