

TC17 合金盘轴锻件普通 β 锻成形工艺优化

Forming Processing Optimization of Normal β -Forging for TC17 Alloy Large Forging With Discal Spindle Shape

中航工业贵州安大航空锻造有限责任公司 李玉凤 占立水 苏春民 张 振

[摘要] 研究通过理论与实践相结合的方式对普通 β 锻成形的 TC17 合金盘轴类锻件进行了几何性和工艺性分析,进而基于 CAD/CAE 一体化设计平台开展了工艺优化设计,并根据优化的工艺进行了生产试造,实现了小设备干大活并获得良好的组织性能。通过总结分析积累生产经验,丰富了理论体系并为后续类似产品生产提供可靠的技术支撑。

关键词: 普通 β 模锻 TC17 合金 CAE 优化设计 成形工艺优化

[ABSTRACT] Geometrical and crafts characteristic of TC17 alloy large forgings with discal spindle shape are studied with theoretic and practice method in normal β -forging processing. Forming processing optimization is implemented based on CAD/CAE design system and the eximious scheme is used in the manufacture process. The result indicates that microstructure with high quality is gained, which can enrich the frame of reference of analogous products.

Keywords: Normal β -forging TC17 alloy CAE optimized design Forming processing optimization

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.19.106

TC17 合金属于($\alpha - \beta$)型两相钛合金,采用 β 锻生产的锻件具有良好的断裂韧性和抗蠕变性能^[1];而钛合金 β 锻生产过程控制难度大,成形温度范围窄,变形量大,必须一火完成锻造过程。要获得良好的组织性能须保证 TC17 合金 β 锻锻造温度在 T_{β} 上 30 ~ 60℃ 内,变形量控制在 30%~50% 范围。对于大中型盘轴类 TC17 合金锻件多采用等温锻方式成形,新产品通常要求短周期、低成本和高质量交付,等温锻无法满足客户研发需求。为此决定采用普通热模锻进行 TC17 合金盘轴件的 β 锻成形,并通过 CAD/CAE 一体化先进设计平台对 TC17 合金盘轴件进行锻件、模具及工艺优化设计,以便实现缩短研发周期、降低试造成本、提高工作效率和产品质量的目标。研究首先根据零件图和技术要求开展产品几何性分析;继而基于公司的生产能力和技术

水平对产品进行工艺性分析,应用 CAD 系统进行锻件及模具设计,初步制定成形工艺方案;然后通过 CAE 系统对产品热成形过程进行有限元分析,进行工艺优化、缺陷预测;之后通过试造验证优化工艺的可行性和可靠性,修正完善工艺方案,为后续批次的生产提供有效的参考依据和理论指导。

1 TC17 合金某盘轴锻件普通 β 模锻工艺性分析

研究对象为 TC17 合金某盘轴锻件,该锻件属于关重件,要求普通 β 模锻成形。锻件图如图 1 所示,图中点划线所示图形为锻件粗加工外廓,根据粗加工图可知零件沿轴向具有多台阶特性,截面变化率较大。最大外径与最小外径比值达到 1.68,径高比达到 1.93,属于典型的盘轴件,内孔粗加工尺寸为 $\phi 91\text{mm}$,设计模锻件时考虑到工艺余量,内孔高径比为 2.9,难以通过锻造方式来成形内孔,兼顾小头端变形量,模锻件在小头端面设计了辅助工艺内凹孔。模锻件设计时为了避免宏观缺陷保证材料的流动性和出模方便,简化了台阶,设计了如图 1 所示的模锻件图。

综合分析锻件的成形工艺性可知,通过普通模锻成形难度较大,工艺过程控制难度大,须严格控制 3 个关键点。

(1) 成形温度控制。TC17 合金 β 锻须一火内完成最终成形,始锻温度必须控制在相变点以上 30~60℃,

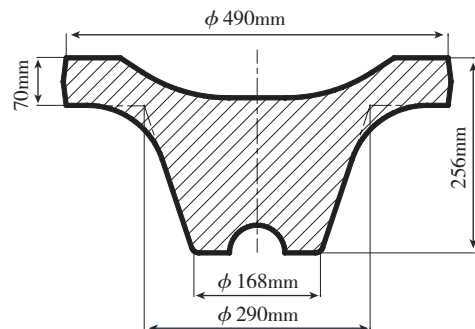


图1 TC17合金某盘轴锻件锻件图

Fig.1 Drawing of TC17 alloy with discal shape

终锻温度不得低于 830°C ；转移过程中为了减小坯料表面热量损失,尽可能减少转移时间;

为了减小锻件表面温降,锻造前需要对坯料表面涂润滑防护剂,模具需要预热至 300°C 左右,弱化锻件表面的加工硬化效应。

(2) 变形量的控制。模锻之前需要对坯料进行改锻,尽量保证坯料组织细小均匀;终锻变形量应该控制在 $30\% \sim 50\%$ 之间,保证锻件获得足够大的变形量,破碎晶粒并获得细小均匀的再结晶晶粒,尤其是保证锻件小头端的变形量。

(3) 成形过程的控制。公司用于生产该锻件的设备为 10t 模锻锤,由于人工操作,不确定影响因素较大,成形速率控制难度大,对组织均匀性影响不可测,成形过程不稳定,锤击容易引起温升异常,错移严重等问题。

为此 TC17 合金盘轴件普通 β 锻成形过程控制难度大,成形质量可靠性不稳定,研究进一步基于 CAD/CAE 一体化设计平台对锻件的成形过程进行了有限元分析,预测锻件成形缺陷,优化工艺参数,为保证锻件良好的成形质量奠定技术基础。

2 TC17 合金盘轴锻件成形工艺优化设计

该类锻件成形过程中极易出现各种宏微观缺陷,宏观缺陷主要有填充不满、应力集中产生的宏观裂纹、折叠、错移、欠压等,微观缺陷主要有流线紊乱、粗晶、混晶、偏析等。工艺设计时需要全面考虑宏观工艺参数,通过协调工艺参数来保证锻件获得良好的成形质量。研究借助 CAE 软件 Deform 对锻件成形过程进行可视化展示,预测锻件成形过程中材料流动规律,温度分布规律,成形缺陷警示等。大大缩短产品研发周期,节约研发成本,提高企业的生产效率和生产效益。根据有限元分析结果深入分析了成形过程锻件内部材料流动速度、等效应变及温度分布情况。

图 2 显示了锻件成形时内部材料的流动速度分布图,从锻件大头端材料的流动速度和方向可知,大头端材料以反挤的方式填充模具,而小头端则以模具压下方为流动方向,且流动速度远远小于大头端的材料流动,在变形量足够的情况下,大头端更容易出现组织不合格的问题,因为该区域材料流动剧烈,且处于材料反向流动的过渡区域,极易形成涡轮、流线紊乱、晶粒粗大、纤维组织等,对后续机械性能造成不良影响。对锻件成形时的温度分布进行分析,如图 3 所示,大头端内部温度有上升趋势,均由于该处材料流动剧烈,易产生变形热,导致材料温度升高,温度升高能为该区域晶粒形核、长大提供足够的激活能,容易出现粗晶或混晶区域,造成组织不均匀,性能异常等质量问题。而与模具

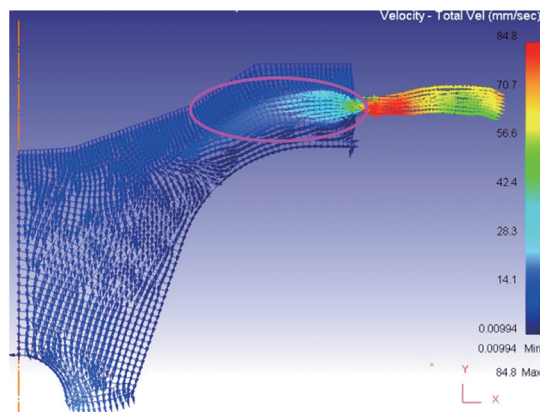


图2 锻件成形过程材料流动速度和分布情况
Fig.2 Flow velocity distribution of forging process

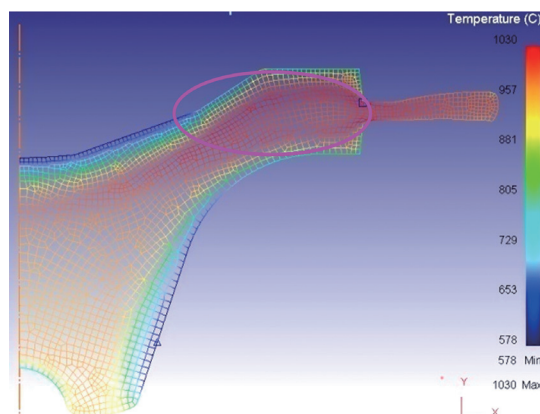


图3 锻件成形后锻件内部温度分布情况
Fig.3 Temperature distribution of forgings after forming

接触的区域,温降较为严重,远远低于 700°C ,为了保证锻件不出现双向组织,类似区域应该保证有足够的机加余量,可以在后续加工中消除。

图 4 展示了锻件成形后的流线分布情况,大头端是材料流动失稳的危险区域,通过流线分布图可知在该区域材料在成形后期可能会形成拉应力,导致形成各向异性的组织,影响锻件的成形质量。因此,该危险区域在成形过程中应该重点关注,通过调整宏观工艺参数如变形温度、变形速度,操作过程的精确度等严格控制成形过程,避免缺陷产生。

为了更直观地观察锻件内部材料流动趋势和体积

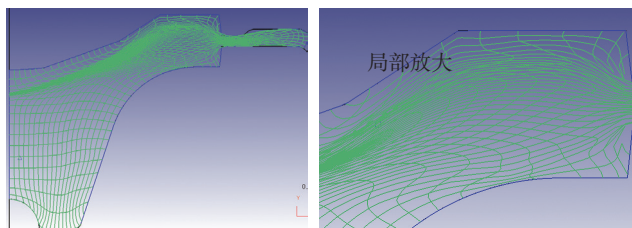


图4 锻件成形过程材料流线分布情况
Fig.4 Flow line distribution of forging

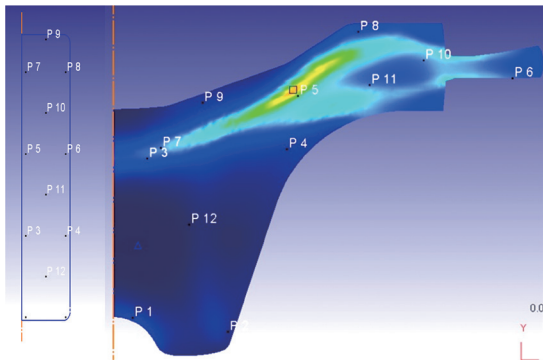


图5 不同变形区域金属流动点追踪分析

Fig.5 Metal flowing of various deforming region by point track

分布情况,在锻件内部选取如图5所示的12个点,进行点追踪,分析坯料各区域材料成形后在锻件内部的体积分布。点P1、P2、P3、点P4、P12变化不大,点P5、P6、P11、P8处金属流动剧烈,同时可以看出越靠近坯料中心部位,金属流动越激烈,变形量越大,材料在动态再结晶之前存在加工硬化现象,会增大成形所需的载荷,材料流变速率过大会提供足够的动能进行动态再结晶,晶粒会迅速长大,而各变形区域的流动速率不一致,会导致组织不均匀。图6是12个点成形过程中等效应变的变化曲线,随着变形的进行,应变值均增大,也就是后期成形载荷越大。图7展示了12个点成形过程中的主应力变化区域,P6、P8、P9三个点在成形过程中主应力出现了正值,也就是说其所在区域受力为拉应力,容易导致变形区域出现组织各向异性。另外,通过主应力变化情况可以看出各区域在变形过程中稳定性较差,因此,需要严格控制成形过程,避免组织缺陷的产生。

3 TC17 合金某盘轴锻件生产试造

按照前期设计的图纸及优化工艺,始锻温度为

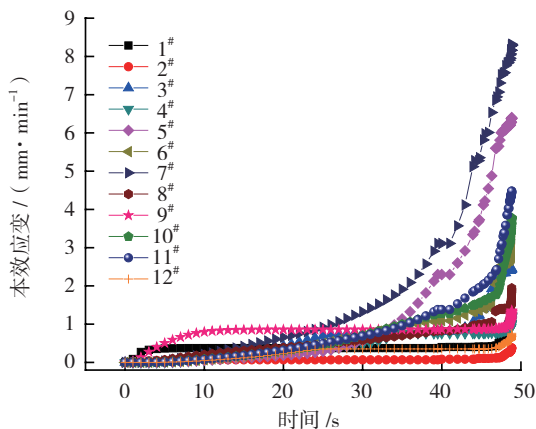


图6 不同变形区域等效应变分布

Fig.6 Equivalent effective strain in various deforming region

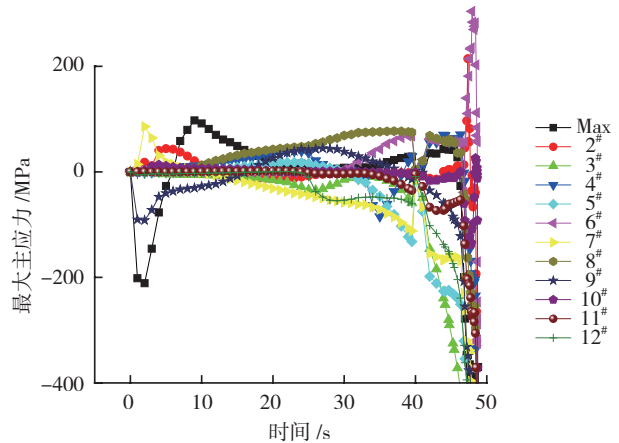


图7 不同变形区域等效应变分布

Fig.7 Max principal stress in various deforming region

($T_{\beta}+40^{\circ}\text{C}$),终锻温度大于 830°C ,模具预热温度 350°C ,转移时间小于40s,锻件表面喷涂防护润滑剂,变形量大于20%,锤击频率禁止过快。成形过程严格控制进行试造得到如图8所示的锻件实物图。锻件小头端存在未填满现象,但是由于小头端设计过程中考虑到填充问题,设计了足够的工艺余量,对锻件的性能和组织无影响。经过固溶和时效热处理后,对锻件进行解剖开展理化检测,理化试样均取自于零件本体区域,力学性能检测如表1所示,各项性能指标均符合标准要求,且各项指标富余量较大。锻件组织决定性能,为此按照图9所示的高倍取样位置示意图取了5组试样进行高倍检测,检测结果如图10所示。

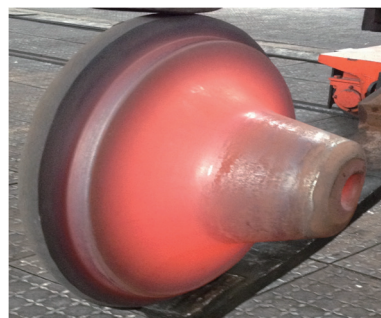


图8 锻件高倍取样位置示意图

Fig.8 Diagram of micro-structure sample

高倍组织均为 β 区锻造和热处理后形成的网篮组织,原始 β 晶界都不同程度破碎,不存在粗大、连续晶界 α 相。从高倍组织可以看出4#试样高倍组织晶界破碎程度较其他区域不充分,结合塑性流动理论和有限元分析可知,4#试样所在区域等效应变为0.21,变形程度最小;与此同时该区域锻件壁厚较小与模具接触面积较大,温度变化较大,不利于该区域发生动态再结晶,

表1 锻件力学性能检测数据

室拉性能	编号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%	收缩率 /%	硬度 (HB)	
	弦向	1180	1120	13	27	3.27	
指标	≥ 1110	1020~1193	≥ 2.0	≥ 3.0	3.0~3.7		
高温性能	编号	抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	延伸率 /%	收缩率 /%	时间 /min	温度 / $^{\circ}\text{C}$
	弦向	935	755	13.0	51.5	30	400
指标	≥ 885	≥ 730	≥ 8	≥ 15	≥ 15	≥ 15	650

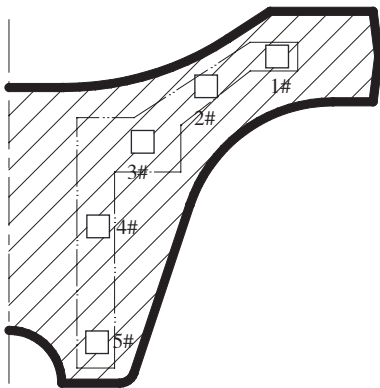


图9 锻件高倍取样位置示意图

Fig.9 Diagram of micro-structure sample

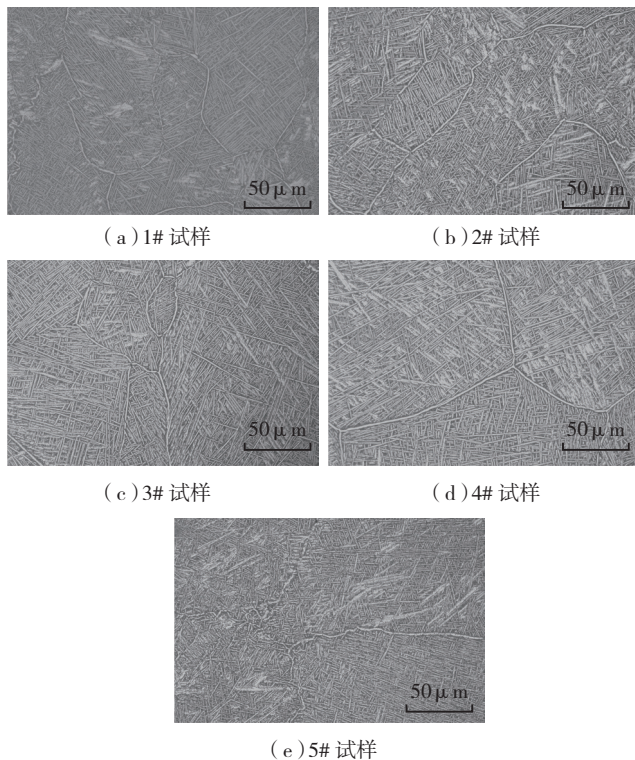


图10 高倍组织

Fig.10 Microstructures

充分破碎原始晶界。理化结果与有限元预测趋势一致,因此通过 CAE 进行工艺优化设计具有可靠性,对实际生产具有指导意义。

4 结束语

研究通过理论分析与有限元分析方法对 TC17 合金盘轴类锻件的普通 β 锻工艺进行了优化设计,获得合理的工艺参数用于生产试造获得组织性能良好的锻件,实现了小设备干大活,普通模锻生产高性能关键件,为后续类似产品的研发提供了有力技术支撑。

参考文献

- [1] 师昌绪,颜鸣皋.中国航空材料手册.第4卷.北京:中国标准出版社,2002,1(2):179. (责编 亿霖)

(上接第 105 页)

Oracle RAC 同时也具有一定的缺点:

- (1) 相对单机,管理更复杂,要求更高;
- (2) 在系统规划设计较差时性能甚至不如单节点;
- (3) 可能会增加软件成本。

4 总结

本文通过对企业应用系统的部署架构进行研究,学习和简介国内外成熟的高可用性、高可靠性和高性能业务系统的部署方式,结合企业实际情况对应用系统的部署架构进行了研究,通过应用集群技术、虚拟化技术、数据库集群技术、系统监控和管理技术的研究,分为不同层面实现高可用性制定了可行的解决方案。

在应用服务器区应用虚拟化技术和应用服务器集群技术,基于 Apache HTTP Server + Apache Tomcat 实现集群部署。在对现有众多应用系统进行梳理和分析过程中,结合企业信息化规划对应用服务区进行了整合。

参考文献

- [1] 柳阳.基于 HA 集群的 Linux 多机互备份系统的研究与应用 [D].广州:华南理工大学,2011.
- [2] 陈斌.基于 Apache 集群负载均衡的研究和实现 [D].成都:电子科技大学,2010.
- [3] 黄洲.Apache-Tomcat 服务器集群管理系统的设计与实现 [D].武汉:华中科技大学,2011.
- [4] 刁申.RAC 实施部署的研究 [D].长春:东北师范大学,2012.

(责编 宁军)