

模锻件概述

刘金林 聂嘉斌

中国航发燃气轮机有限公司, 辽宁 沈阳 110170

[摘要]随着航空航天工业的迅猛发展,我国对于锻件的需求与日俱增。锻造专业属于制造业中的难点,而难点中的难点则属于模锻成型。模锻不仅要保证锻件的外形轮廓符合图纸要求,还要使锻件的内部流线、高倍组织、力学检测等各方面性能均满足标准要求,因此生产出合格锻件则成为工程技术人员的首要任务,组织性能的影响因素也成为锻造人孜孜不倦探索的目标。

[关键词]模锻;工艺;性能;缺陷

DOI: 10.33142/sca.v5i4.6684

中图分类号: V261.32

文献标识码: A

Overview of Die Forgings

LIU Jinlin, NIE Jiabin

AECC Gas Turbine Co., Ltd., Shenyang, Liaoning, 110170, China

Abstract: With the rapid development of aerospace industry, the demand for forgings in China is increasing day by day. Forging major belongs to the difficulty in manufacturing, and the difficulty in the difficulty belongs to die forging. Die forging should not only ensure that the outline of the forging meets the requirements of the drawing, but also make the internal streamline, high-power structure, mechanical testing and other properties of the forging meet the standard requirements. Therefore, producing qualified forgings has become the primary task of engineering and technical personnel, and the influencing factors of organization and performance have also become the goal of forging personnel's tireless exploration.

Keywords: die forging; workmanship; performance; defect

引言

模锻是指设计好专用模具后,在专用模锻设备上,通过模具使得毛坯在型腔内变形,并逐步充满模具内腔,得到特定形状锻件的一种锻造方法。锻件综合性能优异,高温合金的高温性能和钛合金的室温性能尤为突出,使得锻件在众多高端领域中应用广泛,并且无法替代。

1 模锻件的优点

生产效率高。模锻时,金属材料在模膛内受到设备的压力变形,因而可以较快获得所需锻件形状。

可以锻造出形状较为复杂的锻件,并且模锻件流线分布更为合理,从而使得零件的使用寿命进一步提高。

模锻件的尺寸公差较小,表面质量优于自由锻,加工余量小,从而可以减少切削加工量,在锻件数量足够的条件下,能大幅降低零件成本。

模锻对于操作者来说操作简单,劳动强度低。

因此,模锻件的应用将会越来越广泛。

2 模锻件主要工艺路线

模锻件须满足锻造成形及图纸尺寸要求,主导工艺路线大致分为两部分:其一,在变形过程方面,主要是根据锻件的复杂程度和型腔充满的难易,安排为预锻、终锻、校正等工序,校正工序是否需要,是由终锻、切边后的效果决定;其二,在锻后热处理方面,根据材料本身特性和机械加工设计图纸的要求,对锻件进行严格的可控的热处

理,如退火、正火、固溶时效、调质等工序,用以完善锻件的内部组织性能。

具体工序可安排如下:

2.1 坯料

(1) 坯料尺寸及技术条件给定:形状及尺寸比例可以近似于对称时,如三通接头锻件,可以选择饼状坯料;形状及尺寸比例较长时,如输出轴、拨杆等锻件,可以选择长棒形状坯料。坯料的直径与尺寸需按照锻件具体尺寸进行计算,得出试模尺寸,最终定型尺寸需要由试制结果确定。坯料端面一般需要倒角或倒圆角,以便于锻造成型。

(2) 坯料公差确定:坯料的直径尺寸公差需要根据加工方法确定,车加工一般要求较低,磨加工一般要求较高。

(3) 坯料粗糙度:使用车床加工的坯料外表面粗糙度一般要求达到光洁度 6.3,有非加工表面的锻件需要使用磨床加工的坯料,其外表面粗糙度要求达到光洁度 1.6。端面和倒角处要求达到光洁度 6.3。

(4) 坯料表面质量:坯料表面不应有裂纹、折叠、夹杂及结疤等缺陷。

(5) 投料数量:所有坯料需按同一熔炼炉号投产,首批投产或改变主导工艺时,需根据不同情况,多投产 1 件或多件坯料作为理化试件。

2.2 加热

(1) 尺寸检查：加热前需要检查来料尺寸。来料中抽取 5%（不少于 10 件）用卡尺检查来料尺寸是否与坯料图表一致。

(2) 表面质量检查：检查所有坯料表面质量，坯料表面不可以有肉眼可见的裂纹、折叠、夹杂及结疤等缺陷。

(3) 工序要求：加热工序需明确装炉数量、加热温度、保温时间，并绘制加热曲线图。

2.3 预锻和终锻

(1) 设备：锻造前检查设备是否处于正常工作状态。

(2) 模具：核对模具编号与锻件要求是否一致，检查模具是否已试压合格。新模具或因尺寸问题返修过的模具应进行试样的试压，锻件划线合格后方可使用。

(3) 安装模具：通过垫片厚度的调整，使试样试压后的高度尺寸和错移满足工艺文件要求。

(4) 辅助工具：锻造前检查夹钳、卡尺等工具是否齐全，同时需要预热后使用的工具应预热到位。

(5) 锻模预热：按工艺规程中规定温度对模具进行预热，用测温仪测温后，方可进行锻造。

(6) 润滑：按工艺规程中规定的润滑剂润滑膜膛。润滑剂的配制方法需严格按照工艺规程执行。

(7) 停锻及冷却：锻造的停锻温度不可低于工艺规程中的规定，否则会影响锻件内部组织性能。锻件的冷却方式也会改变锻件内部结构，因而必须按材料本身特性，选择合适的冷却方式。

(8) 首件：锻造完成首件后，通过吹砂、腐蚀等方式去除表面氧化皮，并检查锻件尺寸、锻件错移量和表面是否有可见的裂纹、折叠、夹杂及结疤等缺陷。所有检验项目合格后，在锻件图规定位置做出标记。

(9) 抽检：批量生产时，每批次锻造首件、尾件和锻造生产中随意抽检 3 件，按首件检查项目进行检测，发现有不合格项时，立即暂停生产，解决问题后方可恢复。

2.4 热处理

该工序需明确热处理选用的设备、装炉数量、加热温度、保温时间和加热曲线图。冷却方式则需要根据材料特性选择空冷、箱冷、灰冷、保温箱内冷却中的一种。真空热处理时，需选择真空炉进行锻件的热处理。热处理后需检查锻件硬度等理化指标。热处理是决定锻件性能高低的关键工序，因此，必须严格按照工艺规定的参数，对锻件进行锻后热处理，保证锻件内部组织均匀，各项性能检测达到标准要求。

3 影响锻件组织性能的因素

3.1 加热温度和保温时间对组织性能的影响

为了提高锻件塑性，减小锻造过程变形抗力，合金结构钢须加热到单相奥氏体的温度范围内，然后进行锻造。

但加热温度愈高，奥氏体晶粒就会愈粗大。加热后若不经过锻造过程，则会得到粗大晶粒组织；加热到单相奥氏体的温度范围内，并经锻造过程，可打破原有晶粒，终锻温度偏高时，锻件组织为中等晶粒组织；终锻温度过低时，锻件组织为变形晶粒组织；终锻温度适中时，则可以得到细晶组织的锻件。但因这类钢加热过程中都会发生同素异构转变，所以经热处理（例如正火、退火等）后，钢也可以得到细晶组织。

当锻件加热温度过高、保温时间过长或者锻造过程变形量过小时，锻件可能由于过烧，产生粗晶组织。钢的化学成分不同，会导致材料的过热倾向不同。过热现象对钢的组织性能有非常显著的影响，钢的塑性指标，尤其是冲击韧性会大幅降低。过烧后的钢再次用大变形量锻造并经过正常的热处理时，可部分或全部消除过热组织或石状断口。锻件发生严重过热时，通过反复高温正火，也可以改善锻件的组织性能。随着锻件中铁素体含量的增多，会升高钢的冷脆转变温度。当铁素体在锻件中呈网状分布时，则会破坏基体的连续性，使锻件的冲击韧性大大下降，同时，由于过热，锻件组织中奥氏体晶粒明显长大，将使钢的强度、硬度、抗蚀性大大下降。

对于马氏体不锈钢锻件，若锻造加热温度过高、终锻温度过高或终锻过程中变形不充分，则会得到粗晶组织，此类锻件经正常热处理后，冲击韧性依然会受到不良影响，此时，只能对锻件进行高温正火，使锻件上的粗晶得到细化，也可恢复适量的冲击韧性。

对于奥氏体不锈钢和铁素体不锈钢，因其在加热和冷却过程中不会发生相的重结晶转变，锻件组织性能的控制主要依赖于始锻温度、终锻温度，以及终锻温度下的锻件变形量，热处理过程无法使锻件的晶粒细化，因此，为了得到拥有细小晶粒组织的锻件，必须根据锻件的具体情况，来调整始锻温度、终锻温度，以及终锻温度下的锻件变形量。

3.2 变形程度对组织性能的影响

对于马氏体 - 铁素体和奥氏体 - 铁素体不锈钢来说，因钢中含有游离铁素体，锻造过程中，若单方向变形量过大，锻件中铁素体将呈带状分布，则会导致锻件的横向塑性指标下降，尤其冲击韧性指标的大幅度降低，对锻件产生不利的影响。

3.3 锻后冷却的影响

铁素体不锈钢和奥氏体不锈钢在锻造完成后要进行快冷，包括散开空冷，风冷等。因为当铁素体不锈钢锻后的冷却方式为缓冷时，例如堆冷或者灰冷，则可能会出现 475℃ 的脆性。

3.4 工艺参数对高温合金锻件组织性能的影响

铁基、镍基和钴基高温合金通过适当的锻造工艺可以得到优异的高温性能，因而得到广泛应用。此类高温合金只有在锻件晶粒均匀且细小的情况下才能发挥出其优异

的高温性能,但高温合金对加热温度极其敏感,所以锻造加热温度应取在晶粒急剧长大温度之下,并采用40%~70%的大变形,这样的锻造工艺才能使锻件的组织性能发挥出最大功效。若锻造过程较长,需使用多火次锻造,锻造加热温度应随每两火之间间隔时间的缩短而降低,避免已发生再结晶的晶粒长大,同时,加热温度也应随着越接近锻件成品,变形量越小而适当降低。锻造时尽量要求一火次锻造,同时避免不均匀变形,否则会由于动、静态再结晶不同而造成粗晶带状组织和组织不均匀。

3.5 锻造温度对钛合金锻件组织性能的影响

钛合金锻件的组织性能主要取决于终锻变形温度、每火次的变形速度、每火次的变形程度、锻后的冷却速度和热处理等工艺参数。但热处理对钛合金锻件的影响不同于钢锻件,热处理对钛合金锻件的组织性能不起确定性作用。钛合金锻件不同于其他材料的锻件,其组织性能并不是十分均匀和稳定。其主要原因是每个钛合金锻件的变形工艺参数差异很大。因此,为满足大部分钛合金锻件的综合性能,尤其随着模锻件受内应力影响的可能性增大,钛合金锻件组织性能的不均匀性也将增大。锻造过程中因钛合金塑性较低,锻件内部和表面产生缺陷的可能性也将增加,因此一般钛合金锻件选择在 $\alpha + \beta$ 两相区锻造,尤以选择在 T_{β} 温度以下 $30^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 所得到的锻件综合组织性能最优。

3.6 变形量对钛合金锻件组织性能的影响

变形程度对钛合金组织性能的影响是巨大的,多数钛合金变形程度小于30%时,铸造组织无法被打碎或只能有少量轻微破碎;当变形程度大于30%,小于60%时,锻件组织才能明显细化;当变形程度大于60%时,铸造组织才能破碎,从而钛合金锻件才能获得良好的组织性能。

当钛合金的临界变形程度在2%~12%范围时,锻件晶粒将会急剧长大,因此钛合金每火次的变形量都应超过此范围,建议采用15%~20%或更大一些。变形程度对钛合金锻件组织性能的影响比较复杂且非常明显,必须根据具体的钛合金锻件的特性及所使用的锻压设备和加热条件制定准确的工艺规范。

3.7 模具温度对钛合金锻件组织性能的影响

常规模锻生产时的模具加热温度一般在 300°C 以下,由于钛合金材料本身的塑性和变形抗力等锻造性参数对温度十分敏感,模具温度很大程度的影响了毛坯表面金属的流动性,即影响锻造过程中变形的均匀性,从而影响锻件组织性能的均匀性。一般来讲,模具温度越接近毛坯的锻造温度,锻件的组织就越均匀。

4 模锻件的缺陷及原因

模锻件的缺陷有很多种,而产生缺陷的原因也是多方面的。如锻造用原材料自身的缺陷、坯料加工质量不好、模具设计不合理、加热、预锻、终锻、热处理等都会造成

模锻件的缺陷,从而影响模锻件的合格率,这里介绍常见的缺陷及防止方法。

(1) 错移,当锻件上模成型部分与下模成型部分错移量超过设计允许的数值就会造成锻件不合格。引起的原因有:设备安装精度不高,如锤头与导轨间隙过大而造成锻压过程中锻件错移。当存在上述情况时,须相关设备维修人员进行调整,保证设备正常间隙;模具质量的问题,如上模、下模中心线与模具安装尾中心线差距较大,使操作者无法对其,造成锻件错移;操作者安装调整模具不当,造成锻件错移。在模锻生产过程中,锻模容易产生错移,迅速调整好锻模位置是操作者必须掌握的技术。

(2) 充不满,坯料未完全充满模具,引起锻件缺肉的现象称为锻件充不满。产生的原因有:坯料加热温度不够或坯料未加热透,即坯料心部和表面温度不均,往往造成坯料塑性低,金属整体流动性差,不易充满模具;放料位置不正确,造成锻件一侧充不满,另一侧产生大尺寸毛边,引起锻件局部缺肉;锻模预热不够,坯料进入模具后温降过快,导致坯料塑性低,流动差,金属很难充满模具,造成缺陷;润滑不当,在模锻过程中由于润滑不充分往往会造成锻件充不满;操作方法不规范,如在滚挤时,由于操作者移动坯料,使已经成型的最大截面压扁或变小,终锻时就会导致金属不够而充不满模具;氧化皮清除不彻底,若模具内堆积的氧化皮多,占据模具空间,终锻时坯料就会充不满模具,致使锻件缺肉。

(3) 折叠,锻造时,由于坯料产生相对运动,或者前期锤击力过大,金属内部流动不均匀,造成毛坯局部变形异常,再经锻打就会将异常区域的坯料卷起后再次压入锻件本体中形成折叠缺陷。产生的原因有:操作者将毛坯放在模具边缘,锻打时出现模具的压痕,造成锻件表面折叠。因此,在锻造时,尽量将坯料放在模具内圆滑处,可以避免折叠缺陷;毛坯在模具内拔长、预锻、压弯时,因起初锤击过重,使金属展宽过大而冲出模具边缘,当翻转坯料滚挤或拔长时就会把多余材料打入锻件本体,造成锻件出现明显的折叠。当发现上述现象时,须立即停止锻打,清除缺陷后方可继续锻造。

(4) 厚度尺寸超差,由于坯料体积过大,锻件充满模具后,多余金属的抗变形能力造成模锻不足,因而厚度尺寸超差。金属加热温度过低,设备吨位不足等都是造成厚度尺寸超差的主要原因。

(5) 氧化皮压入锻件,金属加热后会与氧气反应,在其表面附有氧化层,经过锻粗、拔长等工序后可以消除大量氧化皮,但有时脱落的氧化皮会进入终锻模内,不及时清理就进行锻打,会将氧化皮压入锻件内部,造成锻件的报废,所以操作者要时刻注意清理模具内的多余物。

(6) 流线不正确:由于操作者未按照锻造工艺规程中规定,使锻件内部组织纤维紊乱,造成锻件低倍组织达

不到技术标准对锻件流线分布的要求，称为流线不正确。并不是所有的锻件都对流线提出要求，只有特定零件才有特定的流线要求，所以在锻造时，要按工艺规程规定的锻造方法进行，否则就会造成锻件流线分布不正确，从而影响锻件组织性能，造成报废。产生的原因有：毛坯放置方向不正确，如发动机上的吊钩对流线有要求，若不遵守锻造工艺规定的方向进行锻造，虽然可以得到外形尺寸合格的锻件，但内部的金属纤维分布紊乱，严重影响锻件的力学性能，造成锻件理化检测不合格。

5 结束语

锻造的发展是依托于国防的需求，好的锻造，可以为

国防保驾护航。虽然锻造行业往往因为噪音大、生产环境恶劣等因素，让人们敬而远之，但仍然有源源不断的高科技人才奋不顾身的投入到这个行业中来。我相信，中国的锻造会越来越好，中国的国防更是会越来越强大。

【参考文献】

[1]李亚非,王伟东,和永岗,等.新型钛合金 TC8-1 棒材显微组织及热处理工艺[J].航空工业,2019(13):86.

[2]董宝明,张胜,郭德伦,梁慧风.钛合金在俄罗斯飞机及航空航天上的应用[J].航空工业,2019(13):07.

作者简介:刘金林(1987.4-)男,毕业院校:南京航空航天大学;现就职单位:中国航发燃气轮机有限公司。