

应用技术

感应加热在铸旋铝合金车轮中的应用

常海平¹, 李昌海¹, 万奇亮²

(1. 中信戴卡股份有限公司 工程技术研究院, 河北 秦皇岛 066011; 2. 中国船级社质量认证公司产品检验部, 河北 秦皇岛 066000)

摘要: **目的** 提升铸旋铝合金车轮的制造技术, 探索铸旋车轮的制造短流程工艺。**方法** 采用感应加热的方式取代传统工业炉对毛坯加热, 并进行了试验研究。从感应加热理论、室温和200℃毛坯加热后的温度变化、旋压后的毛坯组织和机械性能方面进行了详细的分析。**结果** 旋压后车轮的屈服强度能够达到180 MPa, 抗拉强度能够达到280 MPa以上, 温度能够满足目前360~400℃的旋压工艺需求。**结论** 为今后实现铸旋铝合金车轮的制造短流程和工艺规划提供了重要参考。

关键词: 感应加热; 铝车轮; 旋压**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.02.016**中图分类号:** TG375**文献标识码:** A**文章编号:** 1674-6457(2016)02-0072-04

Application of Induction Heating in Spin Casting Aluminum Alloy Wheel

CHANG Hai-ping¹, LI Chang-hai¹, WAN Qi-liang²(1. Engineering Technology Research Institute, CITIC Dicastal Co., Ltd., Qinhuangdao 066011, China;
2. CCS Certification, Product Inspection Department, Qinhuangdao 066000, China;)

ABSTRACT: In order to improve the manufacturing technology of spin casting aluminum alloy wheel and to explore the manufacturing process of casting wheel, the traditional industrial furnace was replaced by induction heating method for the heating of the blank, and the experimental study was carried out. Detailed analysis was conducted including the theory of induction heating, temperature changes after the heating of the blank at room temperature and 200℃, the microstructure and mechanical properties of the spinning blank. The results showed that the yield strength of the spinning wheel could reach 180 MPa and the tensile strength could reach more than 280 MPa. The temperature could meet the requirements of the current spinning process at 360~400℃. It provides an important reference for the future manufacturing process and the process planning of the spin casting aluminum alloy wheel.

KEY WORDS: induction heating; aluminum alloy wheels; spinning

铸旋铝合金车轮近年来得到了普及, 主要应用于中高级轿车, 其特点是散热快、重量轻、美观。同时, 车轮轮辋经过强力旋压后其金属晶粒变细, 具有明显的纤维组织, 使得车轮的整体强度和耐腐蚀性大大提高^[1-9]。

目前, 铸旋铝合金车轮工艺流程如文献^[4]所述, 车

轮旋压前要对所旋压毛坯进行加热, 其毛坯加热主要采用以天然气为能源的工业加热炉等大型设备, 占地面积大, 工作效率低, 同时也存在环境污染。

随着车轮制造技术的不断提升和生产节拍的加快, 对毛坯加热效率提升了更高的要求。本文研究感应加热方式在旋压毛坯加热方面的应用, 为以后工作

收稿日期: 2016-01-20

基金项目: 秦皇岛市科学技术研究与发展计划项目(2012021A122)

作者简介: 常海平(1978—)男, 河北滦南人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为材料塑性加工工艺及设备。

提供新的参考。

1 感应加热理论

感应加热是使用通电线圈使被加热材料(即坯料)的内部产生涡电流,依靠这些涡流的能量达到加热目的,其主要是利用电磁感应的方法进行加热。感应加热原理如图1所示。

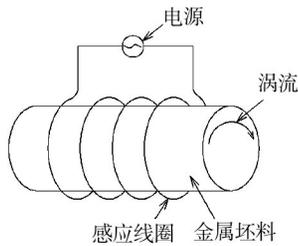


图1 感应加热原理

Fig.1 Principle of the induction heating

感应加热的过程实际上是电磁感应和热传导的过程,其电磁感应过程起主导作用,对热传导过程起着决定作用。电磁感应过程中所产生的涡流功率决定了热传导过程中所需要的实际能量。感应加热所遵循的主要依据是电磁感应、“集肤效应”和热传导3项基本原理^[9]。

通常将150~10 000 Hz频段的感应加热称为中频感应加热;10 000 Hz以上称为高频感应加热^[10-11]。通常用电源、感应器、电容组、电气控制及水电连接、机械结构等几大部分进行组合,形成感应加热的成套设备。车轮毛坯加热时靠感应加热中的感应线圈把电能传递给要加热的车轮毛坯,感应线圈与车轮毛坯应有20~35 mm的间隙。

感应线圈通常是由铜材料做成的,由于电阻的存在,在加热时就会产生热损失。由于感应加热线圈包围被加热的车轮,所以坯料的热损失大部分也传到线圈上,因此感应线圈通常为用水冷却的单层绕组。实际应用中,感应线圈的截面形状大多为空心的方形或矩形,如图2所示。经过退火处理的铜线圈的电阻率

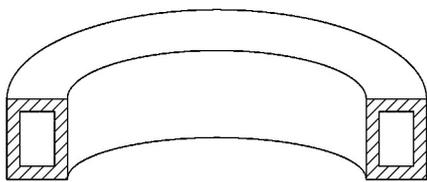


图2 感应线圈

Fig.2 Induction coil

较低,导电性能好,工业中常用的纯铜,外观呈现紫色,故又称紫铜,感应线圈由通水铜管绕制而成^[12-14]。

2 加热试验

加热电源采用IGBT中频电源,频率为10 kHz,使用功率为50 kW,加热工件为通用公司某款18寸待旋压毛坯,如图3所示。



图3 毛坯感应加热

Fig.3 Induction heating of blank

2.1 温度变化

根据旋压工艺需求,对室温和200 °C毛坯进行了加热试验,升温到360~400 °C时所需时间如表1所示。

表1 升温所需时间

Table 1 Time required to heat up

毛坯	温度/°C				
	360	370	380	390	400
室温毛坯	95	98	105	112	120
200 °C毛坯	54	58	65	68	70

由表1可以看出,冷态(室温)旋压毛坯经感应加热到旋压工艺温度区间的时间为95~120 s,升温速度较快,能够满足目前旋压工艺的要求。

原始高温毛坯(200 °C)经感应加热到旋压工艺温度区间的时间为54~70 s,能够满足旋压工艺条件,并且带温感应加热方式适用于压铸毛坯带温旋压理念,更适合短流程制造工艺及生产车间的工艺布局^[15]。

在感应加热过程中,对室温毛坯轮辋内外壁的温度随加热时间的变化进行了分析,如图4所示。由图4可以看出,当毛坯加热到90 s时,温度差最大,为20 °C,也能满足现场旋压工艺需求。

此外,对非旋压部位也进行了温度测量,各部位温

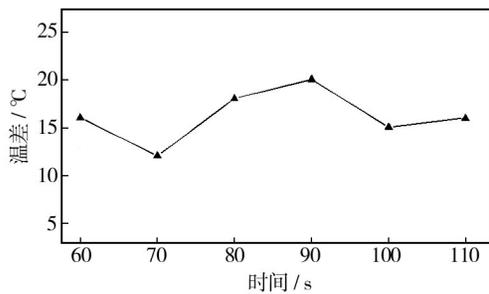


图4 轮辋内外壁温差随时间变化的曲线

Fig.4 Variation curve of temperature difference between the inner and outer walls of the rim of the wheel rim

度为:轮心(法兰)温度为150℃,轮辐温度为260℃,工艺轮唇温度为320℃,能够满足旋压工艺条件。

2.2 性能对比

对正常加热(加热炉)和感应加热经过旋压后的成品车轮进行了力学性能对比,对比结果如表2所示。

由表2可以看出,采用两种不同加热方式的毛坯经过旋压后,其成品的力学性能相差不大,均在客户的产品标准之内。

表2 力学性能对比

Table 2 Comparison of the mechanical properties

检测部位	加热方式	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
轮辋	正常加热	218	298	9
	感应加热	221	286	9.2
内轮缘	正常加热	225	289	10.1
	感应加热	209	293	9.8

2.3 组织对比

两种加热方式下旋压毛坯轮辋金属组织流线的对比如图5所示。

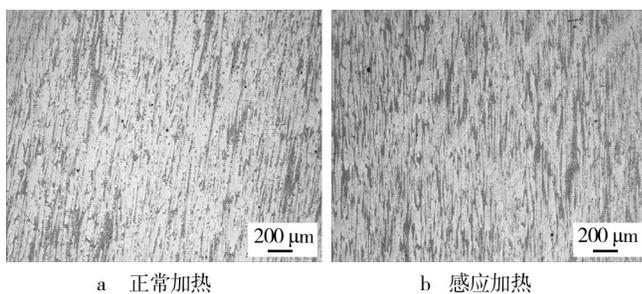


图5 毛坯旋压流线

Fig.5 Spinning streamline of blank

从图5可以看出,两种不同加热方式的旋压金属

纤维组织流线均比较明显,差别不大。

3 结语

对铸旋铝合金车轮毛坯感应加热工艺进行了试验分析,结果表明感应加热工艺能够满足目前的旋压工艺需求,为今后铸旋铝合金车轮的技术发展提供了重要参考,为实现铸旋车轮的短流程制造工艺指出了方向。然而,感应加热设备对加热毛坯温度的控制仅用红外线测温的方式,灵敏度不高;不同型号的轮毂需要的感应线圈也不一样,通用性相对较差,感应加热设备还需优化。

参考文献:

- [1] 刘智冲,常海平,张立娟.影响A356铝合金车轮旋压成形品质的因素分析[J].精密成形工程,2012,5(3):30—33.
LIU Zhi-chong, CHANG Hai-ping, ZHANG Li-juan. Multi-factor Analysis of A356 Aluminum Alloy Wheel on the Spinning Process[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2012, 5(3): 30—33.
- [2] 何维均,宋鸿武,常海平,等.铸造铝合金轮毂旋压过程的数值模拟与工艺优化[J].精密成形工程,2011,3(2):6—10.
HE Wei-jun, SONG Hong-wu, CHANG Hai-ping, et al. Numerical Simulation and Process Optimization of Hot Spinning Process for Cast-spinning Wheel[J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2011, 3(2): 6—10.
- [3] 孔玲,张立娟,常海平,等.铸旋铝合金轮毂旋压模具设计及压料方式研究[J].制造技术与机床,2011(3):142—147.
KONG Ling, ZHANG Li-juan, CHANG Hai-ping, et al. Study on AL-alloy Wheel Spinning Die and the Blank Holder Mode[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2011 (3): 142—147.
- [4] 常海平.一种铝合金轮毂铸旋成形工艺[J].锻压装备与制造技术,2012(4):67—69.
CHANG Hai-ping. A Spin Casting Forming Technology of Aluminum Alloy Wheel Hub[J]. Equipment & Manufacturing Technology, 2012, 47(4): 67—69.
- [5] 张立娟,周宏伟,韩云,等.铸旋铝合金轮毂对旋压设备的需求分析[J].锻压技术,2010,35(4):175—178.
ZHANG Li-juan, ZHOU Hong-wei, HAN Yun, et al. Requirement Analysis of Spin Casting Aluminum Wheel on Spinning Equipment[J]. Forging & Stamping Technology, 2010, 35(4): 175—178.
- [6] 宋鸿武,李昌海,常海平,等.高强韧铝合金轮毂的轻量化铸旋新工艺[J].稀有金属,2012,36(4):630—635.
SONG Hong-wu, LI Chang-hai, CHANG Hai-ping, et al. A

- New Cast Spinning Process for Light Weight Aluminum Alloy Wheels[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2012, 36(4): 630—635.
- [7] 张庆玲. 铝合金轮毂强力旋压数值模拟技术研究[J]. 农业装备与车辆工程, 2008, 205(8): 31—33.
ZHANG Qing-ling. Study on Numerical Simulation of Aluminum Alloy Wheel Spinning[J]. Agricultural Equipment & Vehicle Engineering, 2008, 205(8): 31—33.
- [8] 孙丽丽. 汽车轮毂旋压过程的数值模拟[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
SUN Li-li. Numerical Simulation of Spinning Process of Automobile Wheel[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2008.
- [9] HUANG Long-hui, YANG Yi-tao, LIU Li-kun, et al. Effects of Hot Deformation on Microstructure and Properties of Permanent Mold A356 Aluminum Alloy Castings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2009, 29(4): 381.
- [10] 赵敏. 45钢坯锻前感应加热的有限元模拟分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2006.
ZHAO Min. Finite Element Stimulation of Induction Heating of 45 Steel Rough Cast Before Forging[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2006.
- [11] 王旭阳. 钢板感应加热及热弹塑性变形的数值模拟研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2004.
WANG Xu-yang. Numerical Simulation of Induction Heating and Thermo Elastic Plastic Deformation of Steel Plate[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2004.
- [12] 刘继全. 感应加热的热计算模型[J]. 大型铸锻件, 2003(3): 16—20.
LIU Ji-quan. Thermal Calculation Model of Induction Heating[J]. Heavy Castings and Forgings, 2003(3): 16—20.
- [13] 张恒华, 许珞萍, 邵光杰. 铝合金半固态感应加热的计算机模拟[J]. 中国有色金属学报, 2001(11): 221—225.
ZHANG Heng-hua, XU Luo-ping, SHAO Guang-jie. Simulation on Induction Heating of Aluminum Billets in Semi-solid[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2001(11): 221—225.
- [14] 崔成林. 感应加热对半固态 AlSi7Mg 合金连铸坯温度场和组织的影响[J]. 中国有色金属学报, 2000(10): 809—814.
CUI Cheng-lin. Effect of Induction Heating on the Temperature Field and Microstructure of Semi Solid AlSi7Mg Alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000(10): 809—814.
- [15] 张立娟, 常海平, 凌绍华, 等. 铸旋铝合金车轮短流程制造工艺的试验研究[J]. 锻压技术, 2014, 39(5): 111—115.
ZHANG Li-juan, CHANG Hai-ping, LING Shao-hua, et al. Experimental Study of Short Process Manufacturing Technology for Spin Casting Aluminum Alloy Wheel[J]. Forging & Stamping Technology, 2014, 39(5): 111—115.
-
- (上接第 49 页)
- 出版社, 1999.
ZHU Wei-cheng. Precision Forging Technology of Automobile Parts[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1999.
- [12] 刘建生. 塑性成形数值模拟[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
LIU Jian-sheng. Numerical Simulation of Plastic Forming[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2014.
- [13] 胡建军, 李小平. DEFORM-3D 塑性成形 CAE 应用教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2011.
HU Jian-jun, LI Xiao-ping. DEFORM-3D Plastic Molding and CAE Application Tutorial[M]. Beijing: Peking University Press, 2011.
- [14] 李尧. 金属塑性成形原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
LI Yao. Forming Principle of Metal Plastic[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2013.
- [15] SHINICHIRO Fujikawa. Cold and Warm-forging Applications in the Automotive Industry[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1992, 35: 323—338.
- [16] S SYAHRULLAIL, B M ZUBIL. Experimental Evaluation of Palm Oil as Lubricant in Cold Forward Extrusion Process[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2011(53): 549—555.