

特种铝合金精密成形技术及其在国防科技领域中的应用

王艳艳, 吴茂永, 曲华, 袁迅道

(青岛中科应化技术研究院, 山东 青岛 266109)

摘要: 针对国防科技工业对材料高性能、高可靠性和低成本这一要求, 采用特种合金颗粒作为铝合金的强化相, 利用半固态触变成形及热挤压技术完成一种高性能铝合金棒材的制备。获得材料的抗拉强度达 600 MPa, 硬度达 160 HB。利用精密锻造及超塑性变形技术, 可实现部件的批量制备, 同时可保持材料高性能。生产的铝合金材料及其制品将凭借质量轻、力学性能高的优点, 在航空航天及国防装备上有着广泛的应用前景。

关键词: 国防科技; 铝合金; 半固态触变成形; 热挤压; 精密锻造; 超塑性变形

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2017.03.011

中图分类号: TG146.2⁺1; TF125 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-6457(2017)03-0051-04

Special Aluminum Alloy Precision Forming Technology and Its Application in the Field of National Defense Science and Technology

WANG Yan-yan, WU Mao-yong, QU Hua, YUAN Xun-dao

(Qingdao Zhongke Institute of Applied Chemistry Technology, Qingdao 266109, China)

ABSTRACT: The paper aims to prepare a high performance aluminum alloy bar by adopting semi-solid thixoforming & hot extrusion technology with special alloy particles as strengthening phase of aluminum alloy, so as to meet the requirements of high performance, high reliability and low cost of materials proposed by national defense science technology industry. Tensile strength of the obtained material amounted to 600 MPa and hardness 160 HB. The application of precision forging and superplastic deformation technology makes batch preparation of components possible while maintaining high performance of materials. Aluminum alloy materials and their products produced in above method featuring in light weight and high mechanical properties have a wide application prospect in the field of aerospace and defense equipment.

KEY WORDS: national defense science and technology; aluminum alloy; semi-solid thixoforming; hot extrusion; precision forging; superplastic deformation

精密成形技术是机械制造加工领域的重要技术之一, 在国防科技领域尤为关键, 对国防科技的提升和加强以及武器装备的再提升起决定性作用^[1]。机械零件的精密成形技术反应了一个国家机械制造的能

力, 在国防科技工业领域, 处于举足轻重的位置^[2]。

20 世纪 80 年代初, 精密成形技术逐渐发展并成熟起来, 形成了一系列实用性强的技术, 如等温成形、反重力铸造和半固态成形等, 但这些技术很少用于国

收稿日期: 2017-03-14

基金项目: 中国科学院长春应用化学研究所青岛研发基地条件建设一期项目(14-1-2-52-jch); 中国科学院长春应用化学研究所青岛研发基地条件建设二期项目(15-3-3-1-jch)

作者简介: 王艳艳(1988—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为特种高性能铝合金。

防装备领域。由于我国工业基础落后,制备技术与发达国家仍存在很大差距,因而加快国内国防科技工业精密成形技术的研究步伐势在必行。随着现代战争格局的不断变化,要求国防装备高度机动,轻量化精密成形技术是国防装备实现快速反应能力的重要措施之一。轻量化是国防科技领域工业结构材料的重要发展方向,铝合金、镁合金、钛合金等已被广泛应用于制造飞机、导弹、飞船、卫星等的重要构件^[3-7]。研究轻质材料精密成形技术,可以减轻武器装备质量,从而提高武器装备携带应用的灵活性,其中超塑成形、粉末冶金等精密成形技术也能够显著提高国防科技产品的快速转换能力和批量生产能力,在未来应用市场发展前景广阔。

1 特种铝合金材料

特种铝合金材料^[8]的制备方法采用现代非平衡态合成技术,通过粉末冶金方法,将亚微米级的铝钨合金颗粒分散于铝粉(铝合金粉)中,建立了多孔粉末坯体的直接半固态触变成形及热挤压方法,获得系列高性能铝合金产品。该制备技术源于粉末冶金技术,但是又有别于传统的粉末冶金方法,具有工艺简捷,烧结时间短(1~2 min),制备过程可在空气环境中进行,材料无需后期固溶、时效等热处理过程,即可直接获得高性能。该项目目前正依托青岛中科应化技术研究院进行产业化转化,主要开发3种系列的高性能铝合金(高强、高耐蚀、耐热),其强度、年腐蚀速率、及持久高温服役时间均达到国际同类材料性能水平。项目一期建设目标为年产特种铝合金5000 t,目前已完成年产1000 t生产线的建设。

2 特种铝合金的挤压技术及其在国防科技领域应用

2.1 特种铝合金的挤压技术

与铸造方法比,粉末冶金方法制备获得的铝合金,具有材料组分无偏析,扩展合金元素的固溶度,细化基体组织的优点。具有相似化学成分的铝合金,在相同加工处理条件下,粉末冶金方法得到的产品性能明显优于熔铸法^[9]。由于铝和铝合金粉末表面天然存在一层致密氧化膜,在采用粉末冶金工艺生产铝合金的过程中,氧化膜会阻碍烧结,导致材料无法达到高致密度。通常,为了消除氧化膜的不利影响,提高材料致密度,获得高性能的粉末冶金铝合金,需要在烧结工艺后进行后续处理如挤压、轧制、锻造等。

金属挤压技术对挤压工艺要求高,但可以加工各

种截面形状的型材,对材料的限制也较少,逐渐成为新材料加工与应用的重要方法。随应用领域的不断扩大,需求量也逐渐提高,其中以制备成本低、生产效率高、力学性能好的挤压产品尤其备受瞩目^[10-14]。

基于特殊的铝合金粉体制备工艺,添加防锻剂,利用机械制粉技术完成了粉体颗粒表面氧化层的破坏,实现了超细高活性混合粉体的制备,使得粉体颗粒间的快速烧结和键合成为可能。此外通过挤压机装备技术的升级与改造,采用低挤压比,实现了小吨位设备生产大规格铝合金型材,大幅度提高了产能。目前已在2000 t挤压机上生产出 $\Phi 80$ mm高强铝合金棒材, $\Phi 30\sim\Phi 80$ mm高强铝合金棒材见图1,高强铝合金棒材、管材和板带材见图2,棒材的最大尺寸为 $\Phi 80$ mm,管材尺寸为 $\Phi 120$ mm \times 5 mm~ $\Phi 120$ mm \times 20 mm,板材最大尺寸为6000 mm \times 330 mm \times 30 mm,型材最大尺寸为8000 mm \times 330 mm \times 40 mm。

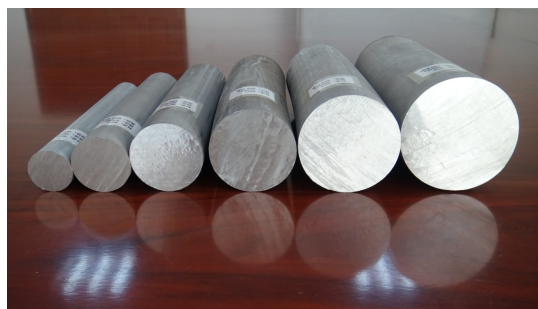


图1 $\Phi 30\sim\Phi 80$ mm 高强铝合金棒材
Fig.1 $\Phi 30\sim\Phi 80$ mm high-strength aluminum alloy bar



图2 高强铝合金棒材、管材和板带材
Fig.2 High-strength aluminum alloy bar, tube and strip

2.2 特种铝合金挤压技术在国防科技领域应用

目前,步兵战车和装甲运输车车体部位由各种牌号的铝合金构成,除此之外,航空航天也是铝合金大规模应用的重要领域^[15-18]。采用精密锻造技术,利用上述特种合金的挤压材制备出的某型号承重支架,材料具有模量高、不发生变形的特点,该部件可以经受武器发射时巨大加速度的冲击,较好地完成了部件减重要求。

3 特种铝合金超塑性变形技术及其在国防科技领域应用

3.1 特种铝合金超塑性变形

为提高国防产品的性能,同时适应大型复杂构件及难加工零件高可靠性、轻量化的需求,超塑性变形技术作为一种新的材料加工方式逐渐发展起来,并为铝合金在国防科技领域的应用开辟了新途径^[19]。与普通加工技术相比,超塑性变形技术既减少了加工时间,节约了成本,又提高了可靠性和部件的实用性能,为铝合金的应用开拓了新的思路。

特种铝合金高强系列在具有优异力学性能的同时,兼具超常的塑性变形能力,变形率达到300%以上,变形后材料不开裂,力学性能不下降,一举突破了高强铝合金的加工难题,有利于复杂构件的精确成形,并大幅度降低机械加工成本。特种铝合金高强系列棒材超塑性变形的样品见图3,试样变形前后的尺寸分别为 $\Phi 50\text{ mm}\times 62\text{ mm}$ 和 $\Phi 94\text{ mm}\times 18\text{ mm}$,抗拉强度均为510 MPa。



图3 9S71 高强铝合金棒材的超塑性变形

Fig.3 9S71 superplastic deformation of high-strength aluminum alloy bar

3.2 特种铝合金超塑性变形技术在国防科技领域的应用

利用特种铝合金超塑性变形的特点,对其进行超塑性变形加工处理,获得的毛坯更接近零件最终形状,具有节省材料,减少加工工时的优点,可为铝合

金材料的深加工提供高效手段,提高了市场应用面。此外超塑性变形获得的铝合金其强度较变形前提高了5%,因而在国防领域有着广泛的应用前景。

锻件在国防科技工业领域应用尤为广泛,在飞机上锻压件的重量占80%,坦克上锻压件重量占70%^[20]。锻造获得的零件能够在恶劣的工作环境中应用自如,具有承受交变载荷和集中载荷的能力。飞机底部的起落架、接头等重要的零件均为锻造加工,使用的材质主要为高强度合金结构钢、钛、铝合金等。

利用冷精锻技术生产某型号传输齿轮,换用高强铝合金后,和原用材料40Cr钢相比,不仅齿根能经受住齿轮起始激发的巨大冲击力,而且能够很好地适应高速、连续射击的工作要求和环境。

4 结语

精密成形技术在国防科技领域发挥着重要的作用,而材料轻量化也是国防科技领域武器装备的发展趋势,特种铝合金具有其独特的优势,其综合力学性能优异,特种铝合金高强系列材料抗拉强度预计将达到600 MPa,其超塑性变形特性为其通过精密成形制备复杂形状零部件提供可能。特种铝合金在今后国防科技领域一定会发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 曹红锦, 彭天秀, 陈秦, 等. 国防工业精密成型技术情报研究初探[J]. 兵器装备工程学报, 2005, 26(5): 44—46. CAO Hong-jin, PENG Tian-xiu, CHEN Qin, et al. Study on the Precision Forming Technology Information Research in the Defence Industry[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2005, 26(5): 44—46.
- [2] 曹红锦, 陈毅挺. 国外军工生产精密成型技术的现状及发展趋势[J]. 兵器装备工程学报, 2004, 25(3): 8—10. CAO Hong-jin, CHEN Yi-ting. Foreign Military Industry Status and Development Trend of Precision Forming Technology[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2004, 25(3): 8—10.
- [3] 唐见茂. 航空航天材料发展现状及前景[J]. 航天器环境工程, 2013, 30(2): 115—121. TANG Jian-mao. Aerospace Materials Development Present Situation and Prospect[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2013, 30(2): 115—121.
- [4] 吴国华, 陈玉狮, 丁文江. 镁合金在航空航天领域研究应用现状与展望[J]. 载人航天, 2016, 22(3): 281—292. WU Guo-hua, CHEN Yu-shi, DING Wen-jiang. Status and Prospect of Research and Application of Magnesium Alloys in Aerospace Applications[J]. Manned Spaceflight, 2016, 22(3): 281—292.
- [5] 李晓谦, 蒋日鹏. 航空航天用高性能轻合金大型复杂结构件制造基础研究进展[J]. 中国基础科学, 2015,

- 17(1): 11—20.
LI Xiao-qian, JIANG Ri-peng. High Performance Lightweight Alloys for Aerospace Research Progress on Large, Complex Structural Parts Manufacturing Base[J]. *China Basic Science*, 2015, 17(1): 11—20.
- [6] 张利军, 薛祥义, 常辉. 我国航空用变形钛合金材料[J]. *中国材料进展*, 2012, 31(8): 40—46.
ZHANG Li-jun, XUE Xiang-yi, CHANG Hui. Deformation of Titanium Alloy Materials for Aviation[J]. *Advances in Materials in China*, 2012, 31(8): 40—46.
- [7] 王建国, 王祝堂. 航空航天变形铝合金的进展(1)[J]. *轻合金加工技术*, 2013, 41(8): 1—10.
WANG Jian-guo, WANG Zhu-tang. Aerospace Progress Wrought Aluminium Alloy (1)[J]. *Light Alloy Processing Technologies*, 2013, 41(8): 1—10.
- [8] 马贤锋, 汤华国, 赵伟. 一种铝合金的制备方法: 中国, 201610079346.4[P]. 2016-02-04.
MA Xian-feng, TANG Hua-guo, ZHAO Wei. A Method for Preparation of Aluminum Alloy: China, 201610079-346.4[P]. 2016-02-04.
- [9] 陈峰, 闫志巧, 蔡一湘. 粉末冶金铝合金及复合材料的研究现状与发展趋势[J]. *材料研究与应用*, 2014, 8(1): 1—5.
CHEN Feng, YAN Zhi-qiao, CAI Yi-xiang. Powder Metallurgical Research Situation and Development Trend of Aluminum Alloys and Composites[J]. *Research and Application of Material*, 2014, 8(1), 1—5.
- [10] 曾凡昌. 锻压先进制造技术及在航空工业领域的应用[J]. *航空制造技术*, 2009(6): 26—29.
ZENG Fan-chang. Forging and Stamping Advanced Manufacturing Technology and Its Application in Aerospace Industry[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2009(6): 26—29.
- [11] LAUE K, STENGER H. *Extrusion: Processes, Machinery, Tooling*[M]. Ohio: American Society for Metals, 1981.
- [12] Japan Society for Technology of Plasticity. *Working Bases and Advanced Technologies of Extrusion*[M]. Tokyo: Corona Publishing Co., Ltd., 1992.
- [13] XIE Jian-xin, LIU Jin-gan. *Theory and Technology of Metals Extrusion (2nd ed)*[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2012.
- [14] 谢建新. 金属挤压技术的发展现状与趋势[J]. *中国材料进展*, 2013(5): 257—263.
XIE Jian-xin. Development Status and Trend of Metal Extrusion[J]. *Advances in Materials in China*, 2013(5): 257—263.
- [15] 戴圣龙, 张坤, 杨守杰, 等. *先进航空铝合金材料与应用*[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 12—20.
DAI Sheng-long, ZHANG Kun, YANG Shou-jie, et al. *Advanced Aerospace Aluminum Alloy Material and Its Application*[M]. Beijing: Defense Industry Publishing House, 2012: 12—20.
- [16] ROGER Grimes, 洪永先. 航空与航天用铝合金的发展[J]. *轻金属*, 1984, 12(4): 62—65.
ROGER Grimes, HONG Yong-xian. Development of Aluminum Alloy for Aviation and Aerospace[J]. *Light Metals*, 1984, 12(4): 62—65.
- [17] 刘静安, 周昆. 航空航天用铝合金材料的开发与应用趋势[J]. *铝加工*, 1997, 20(6): 51—59.
LIU Jing-an, ZHOU Kun. Trend of Development and Application of Aluminum Alloys in Aerospace[J]. *Aluminum Processing*, 1997, 20(6): 51—59.
- [18] 张钰. 铝合金在航天航空中的应用[J]. *铝加工*, 2009, 34(3): 50—53.
ZHANG Yu. Application of Aluminum Alloy in Air and Space[J]. *Aluminum Processing*, 2009, 34(3): 50—53.
- [19] BONET J, GIL A, WOOD R D, et al. Simulating Super Plastic Forming[J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 2006, 195(48/49): 6580—6603.
- [20] 刘静安. 铝合金锻压生产技术及锻件的应用开发[C]//全国第十四届轻合金加工技术学术交流会论文集, 哈尔滨: 轻金属分会, 2009.
LIU Jing-an. Technology and Application of Forgings of Aluminium Alloy Forging Production Development[C]//Proceedings of the 14th Light Alloy Processing Technologies Conference, Harbin: Light Metal Branch, 2009.