# 机械外壳用含钒铝合金的挤压工艺优化

王景辉[1],尚利峰[2],赵利强[3]

(1.渤海理工职业学院,河北 沧州 061199;2.内蒙古工业大学理学院,内蒙古 呼和浩特 010051;3.河北工业大学材料科学与工程学院,天津 300410)

**摘　要:** 采用不同的挤压速度和挤压温度对机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样进行了挤压成型,并进行了力学性能的测试与分析。结果表明:随挤压速度由 2 m/min 提升至 4.5 m/min,挤压温度由 375 ℃升高到 475 ℃,机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样的抗拉、屈服强度先增大后减小,断后伸长率变化幅度较小,力学性能表现为先优化后下降。相比于 2 m/min,3.5m/min 速度挤压时的抗拉强度和屈服强度各增大了 18、16 MPa;相比于 375 ℃,425 ℃温度挤压时的抗拉强度和屈服强度各增大了 20、24 MPa。机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金挤压成型较佳的工艺参数选择为:挤压速度 3.5 m/min、挤压温度 425 ℃。

**关键词:** 含钒铝合金;6061-0.8V;机械外壳;挤压速度;挤压温度;力学性能

**中图分类号:** TF841.3,TG146.21　**文献标志码:** A　**文章编号:** 1004-7638(2019)05-0066-05

**DOI:** 10.7513/j.issn.1004-7638.2019.05.012　**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**

听语音 聊科研 与作者互动

# Extrusion Process Optimization of Vanadium-bearing Aluminium Alloy for Mechanical Shell

Wang Jinghui[1],Shang Lifeng[2],Zhao Liqiang[3]

(1.Bohai Polytechnic Vocational College,Cangzhou 061199,Hebei,China;2.School of Science,Inner Mongolia University of Technology,Huhehaote 010051,Inner Mongolia,China;3.College of Materials Science and Engineering,Hebei University of Technology,Tianjin 300410,China)

**Abstract:** In this paper,new vanadium-bearing aluminum alloy 6061-0.8V specimens for mechanical shell were extruded at different extrusion speeds and temperatures,and the mechanical properties were tested and analyzed.The results show that when extrusion speed is increased from 2 m/min to 4.5 m/min and the extrusion temperature is increased from 375 ℃ to 475 ℃,the tensile and yield strength of 6061-0.8V alloy firstly increases and then decreases,and the change of total elongation is very small..When the extrusion speed is increased from 2 m/min to 4.5 m/min,the tensile strength and yield strength increase by 18 MPa and 16 MPa,respectively. When the extrusion temperature increases from 375 ℃ to 425 ℃,the tensile strength and yield strength of 425 increase by 20 MPa and 24 MPa respectively.The optimum extrusion parameters for 6061-0.8V aluminum alloy for mechanical shell are extrusion speed of 3.5 m/min and extrusion temperature of 425 ℃.

**Key words:** vanadium-containing aluminum alloy,6061-0.8V,mechanical shell,extrusion speed,extrusion temperature,mechanical property

**收稿日期:** 2019-05-27

**基金项目:** 河北省教育厅科学技术处科研项目(编号 Z2018223)。

**作者简介:** 王景辉(1981—),男,回族,内蒙古通辽人,机械设计及自动化学士,高级工程师,主要从事汽车零部件设计、机械自动化设备设计工作,E-mail: aries825@163.com。

## 0　引言

近年来,我国的机械行业发展迅速,各种手机、电脑等机械外壳也得到了较快的发展,需求不断增加,同时对于机械外壳的外观、质量、性能等有了更高的需求。受轻量化发展理念的影响,对机械外壳的要求为: 轻量、高强度、耐热、耐蚀[1]。由于铝合金具有质轻、比强度高、易加工上色、散热性能佳、耐腐蚀等优点,将其应用于机械外壳的加工,能生产出美观、耐冲击、塑性佳、抗腐蚀、绿色环保的机械外壳[2-4]。已有研究表明在铝合金中加入钒能够使晶粒得到细化,可调控、优化铝合金的结构与及性能,大大提升铝合金的弹性、韧性和强度[5-6]。在生产工艺上,虽然采用铸造工艺有益于铸造出质量、性能较佳的复杂薄壁件,但是铸造难免产生缩孔等组织缺陷[7-8]。采用挤压加工铝合金机械外壳,能够显著提高生产效率,增强合金的强度和耐蚀性、提升综合性能[9-10]。由于挤压过程中含钒铝合金会受到挤压温度、速度等影响,而目前有关机械外壳用含钒铝合金的挤压工艺研究还较为鲜见。因而笔者对机械外壳用含钒铝合金的挤压工艺进行了研究,以进一步提升机械外壳用含钒铝合金的质量和性能。

## 1　试验

研究对象为机械外壳用含钒铝合金,材质为 6061-0.8V 新型铝合金,具体成分为: 6061 铝合金基础上添加 0.8%V。6061-0.8V 新型铝合金的化学成分如表 1 所示。采用真空感应熔炼方法,在 AG-001 型 10 kg 真空感应炉内对试验材料熔炼成铸锭。将锭坯置于 SXL-1200 高温箱式炉进行 530 ℃×7 h 均匀化热处理,空冷后,将锭坯置于预热好的挤压模具内,使用 5 000 kN 卧式挤压机对锭坯进行挤压试验。挤压过程中,模具预热温度和挤压比保持不变,分别为 270 ℃和 24,其中挤压比是指锭坯在挤压前后 1/2 处的横截面积之比。表 2 是试样的具体挤压工艺参数。6061-0.8V 新型铝合金机械外壳挤压件如图 1 所示,外壳长 293 mm、宽 108 mm、高 30 mm,厚 5 mm。采用线切割法切取拉伸试样,力学性能测定在 CMT-5105 微机控制电子万能试验机上进行,拉伸速率 3 mm/min,测试温度 25 ℃±5 ℃,用 S-3400 扫描电镜观察不同挤压温度和挤压速度制备的试样在拉伸试验后的断口情况。

表 1　6061-0.8V 新型铝合金的化学成分

Table 1　Chemical composition of new aluminum alloys 6061-0.8V　　%

| Cu | Mn | Mg | Zn | Cr | Ti | Si | Fe | V | Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.15~0.4 | 0.15 | 0.8~1.2 | 0.25 | 0.04~0.35 | 0.15 | 0.4~0.8 | 0.7 | 0.8 | bal. |

表 2　试样的具体挤压工艺参数

Table 2　Specific extrusion process parameters of the samples

| 试样编号 | 挤压温度/℃ | 挤压速度/(m·min$^{-1}$) | 模具预热温度/℃ | 挤压比 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 425 | 2 | 270 | 24 |
| 2 | 425 | 2.5 | 270 | 24 |
| 3 | 425 | 3 | 270 | 24 |
| 4 | 425 | 3.5 | 270 | 24 |
| 5 | 425 | 4 | 270 | 24 |
| 6 | 425 | 4.5 | 270 | 24 |
| 7 | 375 | 3.5 | 270 | 24 |
| 8 | 400 | 3.5 | 270 | 24 |
| 9 | 450 | 3.5 | 270 | 24 |
| 10 | 475 | 3.5 | 270 | 24 |

## 2　试验结果及讨论

### 2.1　挤压速度的影响

#### 2.1.1　挤压速度对力学性能的影响

425 ℃挤压温度下,机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样分别经不同的挤压速度挤压下的力学性能测试结果如图 2 所示。

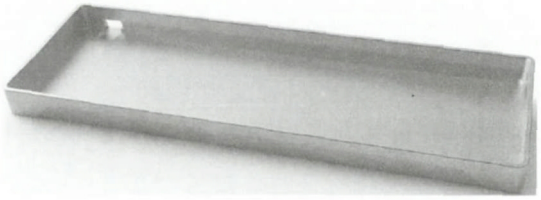


图 1　6061-0.8V 新型铝合金机械外壳

Fig.1　Mechanical shell made from a new aluminum alloy 6061-0.8V

由图 2 可以清晰得知,2~4.5 m/min 挤压速度时,试样的抗拉强度变化区间为 225 ~248 MPa,屈服强度变化区间为 225 ~195 MPa,断后伸长率则在 13.4%~11.6%变化。挤压速度越低,试样的强度也越低,断后伸长率则相对最大,随挤压速度加快,试

样的强度也随之不断增强，力学性能逐渐提升。当挤压速度加快至 3.5 m/min 时，试样的抗拉和屈服强度均分别达到峰值 248 、195 MPa，相比于挤压速度为 2 m/min 时，各增大了 18、16 MPa；断后伸长率则为低谷值 11.6%，力学性能最佳。

2.1.2　不同挤压速度下的拉伸断口形貌分析

图 3 为机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样 4( 3.5 m/min 挤压、425 ℃挤压) 和试样 6( 4.5 m/min 挤压、425 ℃挤压) 的拉伸断口照片。从图 3 可见，3.5 m/min 速度挤压时试样的断口处韧窝分布较均匀，形状圆润，尺寸较小，撕裂棱也较细小，此时塑性最好，力学性能最优。随着速度提高到 4.5 m/min 时，试样的撕裂棱和韧窝均显著变粗大，力学性能较差，次于试样 4。结合试样的强度及伸长率测试值可知，要想优化机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样的力学性能，挤压速度较好的选择为: 3.5 m/min。

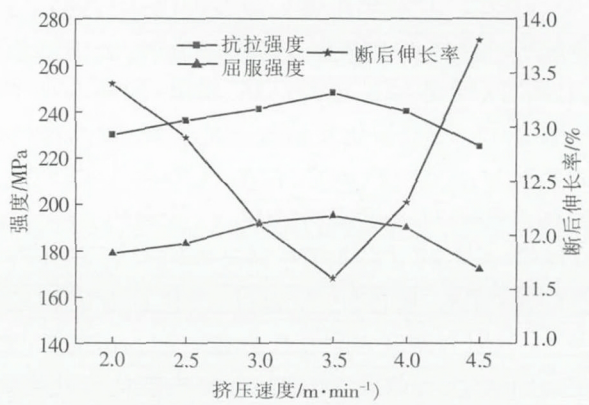
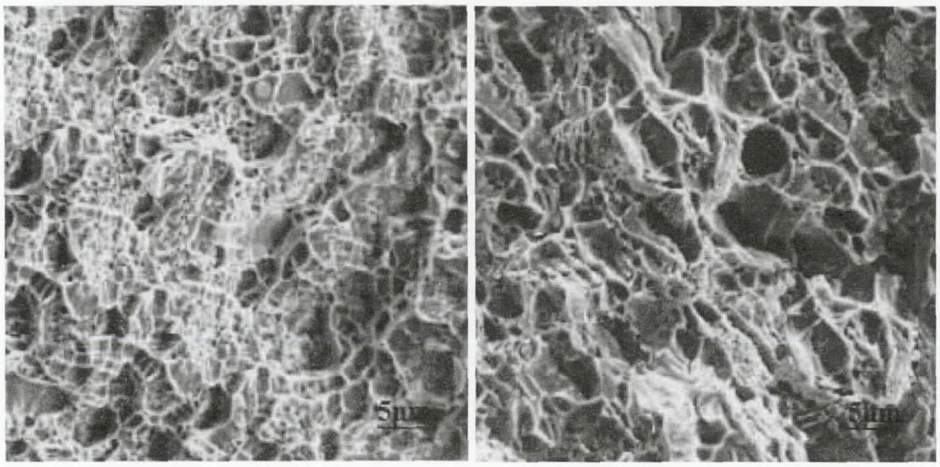



图 2　挤压速度对 6061-0.8V 合金试样力学性能的影响

Fig.2　Effect of extrusion speed on mechanical properties of 6061-0.8V alloy specimens




(a) 试样 4 (3.5 m/min、425 ℃挤压)　　(b) 试样 6 (4.5 m/min、425 ℃挤压)

图 3　不同挤压速度下 6061-0.8V 合金试样的拉伸断口照片

Fig.3　Tensile fracture appearance of 6061-0.8V alloy samples at different extrusion speeds

2.2　挤压温度的影响

2.2.1　不同挤压温度下的力学性能

3.5 m/min 挤压速度下，机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样分别经 375~ 475 ℃温度挤压下的力学性能测试结果如图 4 所示。由图 4 可以清晰得知，375~ 475 ℃温度挤压时，试样的抗拉强度变化区间为 228~248 MPa，屈服强度变化区间为 171~195 MPa，断后伸长率则在 13.8%~11.6%变化。挤压温度越低，试样的强度也越低，断后伸长率则相对最大，随挤压温度逐渐升高，试样的强度也随之增大，力学性能逐渐提升。试样的抗拉强度和屈服强度在 375 ℃挤压时测试值最低，分别为 228、171 MPa，断后伸长率为峰值 13.8%，此时力学性能表现也是最差的。当挤压温度升高到 425 ℃时，试样的抗拉和屈服强度均分别达到峰值 248、195 MPa，相比于挤压温度为 375 ℃时，各增大了 20、24 MPa，断后伸长率则为低谷值 11.6%，减小幅度较小，力学性能最佳。

2.2.2　不同挤压温度下试样的表面腐蚀形貌

图 5 为机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样 7( 3.5 m/min 挤压、375 ℃挤压) 和试样 4( 3.5 m/min 挤压、425 ℃挤压) 的拉伸断口照片。从图 5 可以发现，425 ℃温度挤压时试样的断口处韧窝和撕裂棱很明显的小于 375 ℃温度挤压，力学性能试样 4 优于试样 7。结合强度及伸长率测试值可知，要想优化机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样的力学性能，挤压温度较好的选择为: 425 ℃。

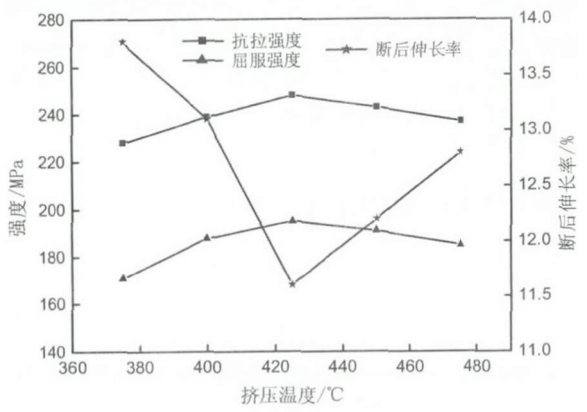
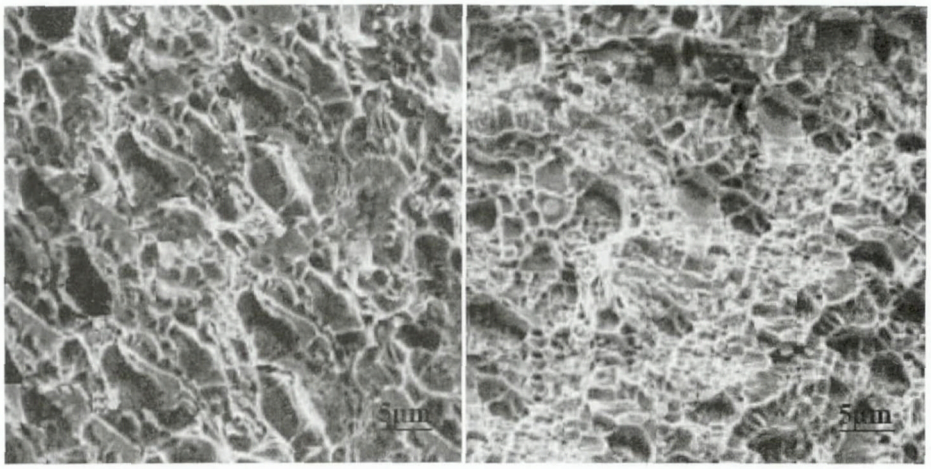



**图 4　挤压温度对 6061-0.8V 合金试样力学性能的影响**

Fig.4　Effect of extrusion temperature on mechanical properties of 6061-0.8V alloy specimens

### 2.3　讨论及分析

在铝合金机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金的实际操作过程里,挤压速度和挤压温度会极大地影响其产品件的品质、性能和使用寿命,因而挤压温度和挤压速度这二者都是非常关键的工艺参数。6061-0.8V 合金对于挤压速度和挤压温度参数较为敏感。若挤压时速度较低,那么就会极大地降低挤压效率; 若是挤压温度过低,就需要加大挤压力,这样一来就会增加设备的能耗。而且一定程度上,挤压速度和挤压温度会相互影响制约,进而决定着最终铝合金成品的质量和性能。这是因为挤压速度的加快,会使机械外壳用 6061-0.8V 合金内部的热量、温度也跟着逐渐升高,并会影响机械外壳模具的最高温度。




(a) 试样 7 (3.5 m/min、375 ℃挤压)　　(b) 试样 4 (3.5 m/min、425 ℃挤压)

**图 5　不同挤压温度下 6061-0.8V 合金试样的拉伸断口照片**

Fig.5　Tensile fracture appearance of 6061-0.8V alloy samples at different extrusion temperatures

随着挤压速度的加大,合金内部产生的热量也愈来愈多,模具的最高温度就会越小,而且挤压的速度过大的话,合金内部的热量无法扩散出去,挤压态机械外壳内部的温度就会增加; 因此为了维持合金内部的温度稳定,挤压速度就不能过高。另一方面,挤压温度的高低,也会极大地影响合金的内部结构。挤压温度若是太低,无法提供给 6061-0.8V 合金足够的热量进行充分的塑性变形; 挤压温度过高的话,又会使合金内部的温度过高,甚至出现过烧的问题,并且温度的升高还会一定程度上减小最大挤压速度,过高的温度使得内部晶粒变粗大,组织疏松、欠均匀,强度会降低,力学性能下降。从上述的试验结果可以看出,2 m/min 挤压速度或 375 ℃挤压温度下,试样的抗拉强度和屈服强度较小,力学性能较差; 3.5 m/min 挤压速度、425 ℃挤压温度下,6061-0.8V 合金的抗拉强度和屈服强度分别达到峰值 248、195 MPa,此时力学性能达到最佳状态。此时机械外壳用合金的最高温度出现在合金的中心部位,温度逐渐向两端降低,晶粒得到充分的细化,组织分布均匀、规则、致密,强度和硬度得到显著提高,力学性能最佳。因此,综上所述,为优化铝合金机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样的力学性能,挤压工艺参数较好的选择为: 3.5 m/min 挤压速度、375 ℃挤压温度。

## 3　结论

1) 当挤压的速度由 2 m/min 提升至 4.5 m/min,挤压的温度由 375 ℃升高到 475 ℃,机械外壳用

6061-0.8V 新型含钒铝合金试样的抗拉、屈服强度先逐渐增大后再随之减小，断后伸长率变化幅度极小，具体表现为先减小后增大，力学性能就表现为先优化后下降。

2) 相比于 2 m/min 速度挤压，3.5m/min 速度挤压时的抗拉强度和屈服强度各增大了 18、16 MPa；相比于 375 ℃温度挤压，425 ℃温度挤压时的抗拉强度和屈服强度各增大了 20、24 MPa。

3) 为优化机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样的力学性能，机械外壳用 6061-0.8V 新型含钒铝合金试样的挤压工艺参数较佳的选择为：挤压速度 3.5 m/min、挤压温度 425 ℃。

## 参考文献


[1] Shen Fengrong.The influence of extrusion process parameters on new extruded aluminum building profiles is analyzed [J].Architectural Engineering Technology and Design,2018(29):3336.
(申凤荣.分析挤压态新型铝合金建筑型材受到挤压工艺参数的影响情况 [J].建筑工程技术与设计,2018(29):3336.)

[2] Wang Guojun.Study progress on aluminum material for ironing and deep drawing processing [J].Mechanical Engineer,2004(9):5-7.
(王国军.变薄拉深用铝合金材料研究进展 [J].机械工程师,2004(9):5-7.)

[3] Guo Shijie,Zhang Baocun,Zhang Wenjing,*et al*.Causes of the black strip defects in anodic oxidation of 6××× aluminum alloy used for mobile phone shells [J].Light Alloy Fabrication Technology,2018,46(8):13-17.
(郭世杰,张保存,张文静,等.手机外壳用 6×××系铝合金阳极氧化黑线缺陷产生的原因 [J].轻合金加工技术,2018,46(8):13-17.)

[4] Luo Hanping.The small explosion-proof electric appliance outer covering aluminum alloy casting and its the mold design research [J].Machine Building & Automation,2007,36(6):97-99.
(骆汉平.小型防爆电器外壳铝合金铸造及其模具设计的研究 [J].机械制造与自动化,2007,36(6):97-99.)

[5] Hu Zhankui,Ke Shanshan.Influence of V content on microstructure and properties of 3102 [J].Aluminium Fabrication,2017(1):4-9.
(胡展奎,柯珊珊.钒含量对 3102 铝合金组织及性能的影响 [J].铝加工,2017(1):4-9.)

[6] Chen Guocheng,Li Yingfen.Determination of vanadium content in aluminum and aluminum alloys by spark emission spectrometry [J].Chinese Jorunal of Inorganic Analytical Chemistry,2017,7(3):59-61.
(陈国成,黎应芬.火花直读光谱法测定铝及铝合金中的钒含量 [J].中国无机分析化学,2017,7(3):59-61.)

[7] Jin Lei.Intermediate frequency induction furnace smelting casting aluminum alloy technology [J].Machinist Metal Forming,2003(2):15-16.
(金雷.中频感应电炉熔炼铸造铝合金工艺技术 [J].机械工人(热加工),2003(2):15-16.)

[8] Ouyang Wenhua.Study on extrusion casting process of shell of vibrator [J].Science and Technology Innovation Guide,2012(2):56-58.
(欧阳文华.震动器外壳的挤压铸造成形工艺研究 [J].科技创新导报,2012(2):56-58.)

[9] Li Jiaxing,Li Weiping,Feng Yangming,*et al*.Characteristics and development prospect of aluminum alloy special precision extrusion material [J].Light Alloy Fabrication Technology,2019,47(2):41-44.
(黎家行,李伟萍,冯扬明,等.铝合金特殊精密挤压材的特点和发展前景 [J].轻合金加工技术,2019,47(2):41-44.)

[10] Huang Xuemei,Zhang Longwei,Deng Rurong,*et al*.Improvement of die design for typical extruded aluminum motor housing [J].Nonferrous Metal Processing,2016(1):33-35.
(黄雪梅,张龙卫,邓汝荣.典型铝合金电动机外壳挤压模的改进 [J].有色金属加工,2016(1):33-35.)


编辑 杨冬梅