

高性能铝合金轮毂模锻新技术^①

曾苏民

(西南铝加工厂, 重庆 631326)

摘要 针对大型汽车铝合金轮毂的高性能要求, 采用高纯度原材料、高模锻温度、高金属固溶热处理温度、高人工时效温度等新技术, 大幅度提高了产品的性能。与原工艺下的产品质量相比, 强度提高了30%, 硬度提高了40%, 伸长率提高了50%。本文详细介绍了该工艺过程, 分析了提高性能指标的各影响因素和强化机理。

关键词 模锻技术 热处理 高性能铝合金

1 模锻铝合金轮毂及要求

铝合金车轮轮毂由于具有质轻、防腐性强、导热性好等优点, 在现代汽车制造中正取代传统的钢制轮毂而被广泛地推广应用。就铝轮毂的制造而言, 通常有压铸、冲压、旋压和模锻等四种方法。而重型卡车和大型客车的轮毂, 由于强度要求高, 目前只能通过模锻方式进行制造。

既要保证较高的强度性能又要节省材料和减轻重量, 这样一个双重的要求给汽车铝轮毂的模锻带来了不少困难, 主要有以下三个方面:

(1) 截面形状复杂。图1所示为某车轮轮毂截面形状示意图, 不难看出, 要锻压出这样一个轮毂, 在压模设计和拔模工艺制定等方面都有一些特殊的要求。

(2) 由于轮毂的各个方向都有强度要求, 因而锻件三个方向都要具有纵向性能, 也就是要求锻件的金属流线沿着轮毂产品的外形流动。

(3) 要求模锻出的铝轮毂金属组织晶粒细小, 整个轮毂具有较高的强度性能, 一般要求比同类产品目前的国家标准指标高40%。

要模锻出这种性能指标的复杂形状锻件,

无疑需要采取相应的模锻新技术和新工艺。

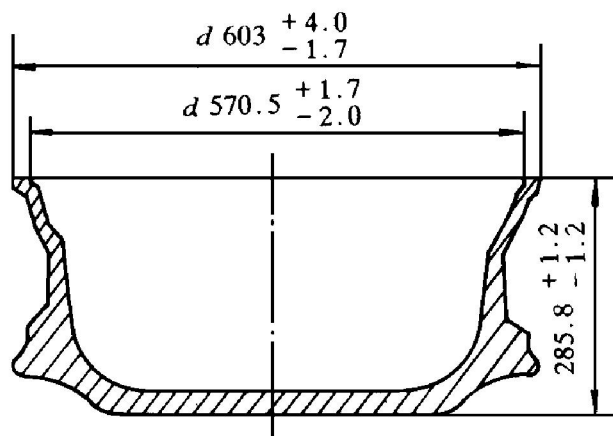


图1 $d571.5 \text{ mm} \times 190.5 \text{ mm}$ 轮毂锻件图

2 “一纯三高”新工艺

针对上述锻件及性能要求, 根据国外有关技术标准、生产情况、工艺流程和我国当前的生产条件, 以及对锻造过程中金属成型过程、热处理等各个环节及各工艺条件影响进行分析, 我们从材料和工艺方面做如下考虑:

(1) 采用纯度高的圆铸锭

尽可能地减少合金中有害物质无疑是保证锻件性能的一个重要方面。对铝合金而言, 一是应当尽量减少金属杂质铁的含量(应使其小

① 收稿日期: 1995-11-28; 修回日期: 1996-07-20 曾苏民, 男, 64岁, 总工程师

表1 新工艺主要参数与常规工艺重要参数的对比

| 工艺类别 | 圆铸锭纯洁度 | 模锻温度/℃ | 固溶热处理温度/℃ | 人工时效温度/℃ |
|--------------------------------------|--|--|--------------------------|--------------|
| 新工艺 | Fe ≤ 0.5%, H ₂ ≤ 0.25 mL/100 g | 开锻温度 500~ 540 模具温度 400~ 480 终锻温度 ≥ 450 | 空气炉 540 ± 5 | 180- 5(金属温度) |
| 常规工艺 (按 1993 年西南铝加工厂 产品工艺操作规程) | Fe ≤ 0.7%, 对含氢量未作规定 | 开锻温度 460~ 480 模具温度 250~ 450 终锻温度 ≥ 380 | 空气炉 540 ± 5 ³ | 155+ 5(金属温度) |

注: 铝合金 6061- T₆, d571.1 mm × 190.5 mm 轮毂。

于 0.5%), 二是减少非金属杂质, 主要是要保证氢的含量不高于 0.25 mL/100 g。根据这两个指标要求, 我们决定选用 6061 合金。

(2) 采用高的模锻温度

这里所确定的高模锻温度, 包括高的开锻温度、模具温度及终锻温度。

铝合金 6061 的过烧温度为 580~ 590 ℃左右, 考虑到加热炉的温差为 ±22 ℃, 我们将坯料的最高加热温度定为 540 ℃。根据 5CrNiMo 模具的最高允许限, 模具最高温度定为 480 ℃, 但为了防止固溶加热过程中产生大晶粒, 终锻温度设定在 450 ℃以上。

(3) 采用高的金属固溶热处理温度

根据有关标准^[1], 合金 6061 的固溶温度最高为 578.4 ℃, 考虑到空气加热淬火炉的实际情况, 固溶温度被设定为 540 ± 5 ℃。

(4) 高的人工时效温度

为了充分时效, 我们将人工时效温度从常规的 155 ℃左右提高到 180 ℃。

根据上述工艺的特点, 可将其称为“一纯三高”。所制定的新工艺与常规工艺的比较如表 1 所示。

3 结果及分析

3.1 新工艺下锻件的力学性能

采用上述新工艺在西南铝加工厂锻造了某大型铝合金轮毂 (d571.5 mm × 190.5 mm)。产品检验后所得性能指标及与常规工艺下产品 (SATMB247M-90) 的比较列于表 2。

6061 轮毂共研制了 216 个热处理炉批, 每个炉批均取一个样本, 测试各种性能参数, 其

轴向、切向、径向力学性能数据的统计平均值如表 3 所示。

按照圆形模锻件的取样标准来说, 切向即纵向(顺流线方向), 其性能是最好的。

表2 6061 T₆ 铝合金大型轮毂的性能

| 类别 | σ _b /MPa | σ _s /MPa | δ/% | HB | 产品探伤 |
|------------------|---------------------|---------------------|--------|----------|----------|
| 新工艺 | 340~ 380 | 320~ 360 | 11~ 18 | 112~ 115 | ASTM A 级 |
| ASTM B247M-90 | 260 | 240 | 7 | 80 | ASTM B 级 |

表3 6061 T₆ 轮毂三向的力学性能

| 方向 | σ _b /MPa | σ _s /MPa | δ/% | HB | 样本数 |
|----|---------------------|---------------------|------|-----|-----|
| 切向 | 361 | 342 | 14.3 | 113 | 216 |
| 轴向 | 352 | 334 | 15.1 | 113 | 216 |
| 径向 | 355 | 336 | 13.8 | 113 | 216 |

3.2 机理分析

3.2.1 合金强化

新工艺从三个方面促进了合金强化的作用。其一, 由于采用了高纯度的原材料, 使 Fe 的含量被控制在 0.21%~ 0.26% 之间, 从而大大减小了 Fe 在合金中形成 FeAl₃ 而降低合金伸长率的影响; 高纯度的材料将氢的含量控制在 0.09~ 0.14 mL/100 g, 从而提高了固溶热处理后产品的探伤合格率。其二, 新工艺中固溶温度的提高, 使强化相 Mg₂Si 在固溶热处理中得到完全溶解(见图 2), 起到了合金强化的作用。其三, 人工时效温度的提高, 有利于 Mg₂Si 沉淀的析出, 从而发挥最大的强化效应; 均匀温度由常规工艺的 520 ℃提高到 540 ℃, 均匀化后风冷(快速冷却), 这样均匀化充分给组织性能均匀化创造了良好的条件。

3.2.2 组织强化

除了上述“一纯三高”的工艺特点外, 在新

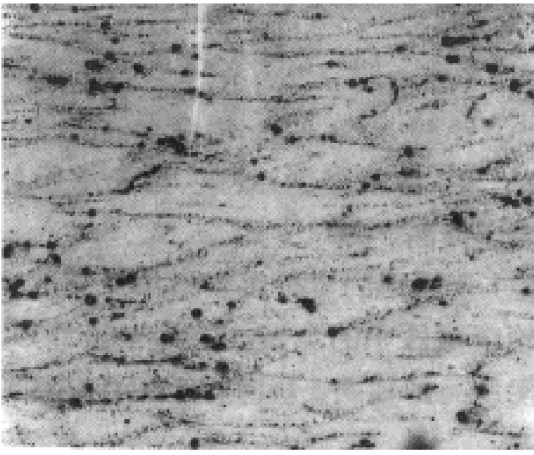


图2 铝合金 6061 轮毂 540 °C 固溶热处理的高倍组织, $\times 200$

工艺中, 我们还将日本原工艺^[2]规定的 $d 350$ mm 圆锭改成为 $d 250$ mm, 从而大幅度地增加

了变形量, 变形系数由原来的 6 增大到 14, 使原坯料的铸造组织经过充分的锻造和模锻后完全地转变成变形组织, 提高了材料的性能。此外, 由于采用了小圆锭和改进了熔铸工艺, 使铸锭的原始晶粒度被控制在 $300 \mu\text{m}$ 以下。更重要的是, 新工艺提高了模锻温度, 使锻件材料自由能减少, 聚合再结晶的可能减小, 再配合以短的固溶时间, 更进一步地避免了大晶粒的产生。

图 3 中(a)和(b)分别为常规工艺和新工艺下轮毂的低倍组织。比较可见, 在常规工艺下轮毂的低倍组织还有大晶粒出现, 而在新工艺下的轮毂低倍组织则呈现出完全的细小均匀的晶粒。

3.2.3 流线强化

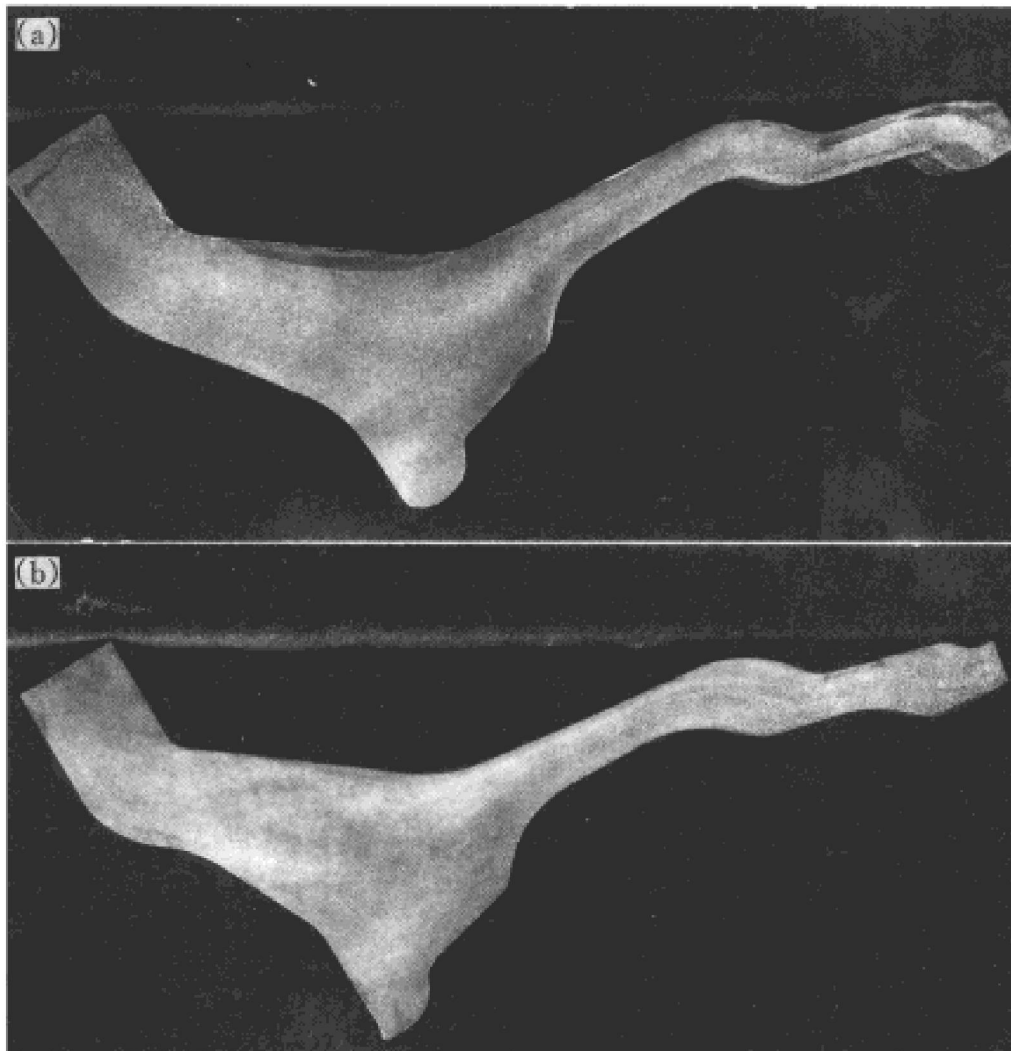


图3 铝合金 6061- T_6 轮毂的低倍组织
(模锻终锻温度为 390 °C, 固溶保温时间为 240 min)

在模锻件中,将金属的流线方向称为纵向,这个方向上材料的性能最高;相应地,将与流线方向成 45° 左右的方向称为横向,该方向性能中等;而垂直于流线的方向称为高向,其性能最低,尤其是塑性指标降得最多。

如前所述,大型车轮轮毂要求其轴向、切向和径向都具有纵向性能。为此,我们在复杂的轮毂上均匀地加上了3 mm的机械加工裕量,并根据轮毂轮廓形状专门设计了复杂的组合模具以保证模锻过程中金属流线与模锻件轮廓一致,从而提高轴向和径向的力学性能。结果正如本文中表2所示,锻件的金属流线完全沿着轮毂产品的外形流动,即轴向、切向和径向为流线纵向,三个方向上的性能均大幅度地超过了ASTMB 247M-90标准的纵向水平,且三向性能一致。

4 结论

(1) 针对6061-T₆铝合金采用“一纯三高”新工艺,使其强度、硬度、伸长率指标都得到大幅度提高。

(2) 所采用的复杂组合模具及相应工艺使大型轮毂锻件中的金属流线完全沿外形流动,从而使产品的轴向、切向和径向均取得流线纵向性能。

(3) 新工艺从合金、组织、流线三个方面进行强化,提高了锻件性能。

参考文献

- 1 AA 美国铝业协会,邱成林等译.铝标准和数据.重庆:科学技术文献出版社,1989:60-63.
- 2 刘静安等.世界当代铝加工最新技术.长沙:中南工业大学出版社,1992:58-95.

NEW TECHNOLOGY OF DIE FORGING PROCESS OF ALUMINIUM ALLOY HUB

Zeng Sumin

Southwest Aluminium Fabrication Plant, Chongqing 631326

ABSTRACT A new technology has been used for the die forging process of aluminium alloy hub of heavy automobile. By selecting raw material with low content of Fe and H₂, adopting high die forging temperature, high solution heat treatment temperature and high ageing temperature, the property of forging has been improved greatly with a rise of 30% in strength, 40% in hardness and 50% in elongation. In this paper, the details of the process were presented, and the influence factors and the strengthening mechanism of forging property improvement were analyzed.

Key words die forging process heat treatment aluminium alloy hub

(编辑 李 军)