

## 热处理对 6061 铝合金铸锭淬火应力与力学性能的影响

黄丽娜 王宇旭 李小清

中国航发南方工业有限公司, 湖南 株洲 412000

[摘要] 文章采用试验分析法, 结合 6061 铝合金淬火敏感性分析, 探讨了“室温水(25℃)淬火”、“室温水淬火+时效处理(175℃)”、“风冷+60℃~80℃水淬火+风冷+时效处理”、“风冷+60℃~80℃水淬火+风冷+时效处理”四种热处理制度下, 6061 铝合金铸锭淬火应力与力学性能的变化。研究发现: 6061 铝合金在 230℃~440℃下的淬火敏感度较高, 在此条件下利用 60℃~80℃的水淬火, 淬火应力相对较低, 但力学性能与室温水淬火基本相同。

[关键词] 热处理; 6061 铝合金; 力学性能

DOI: 10.33142/ec.v2i9.702

中图分类号: TG166.3

文献标识码: A

### Effect of Heat Treatment on the Quenching Stress and Mechanical Properties of 6061 Aluminum Alloy Ingot

HUANG Lina, WANG Yuxu, LI Xiaoqing

China Airlines South Industry Co., Ltd., Hunan Zhuzhou, 412000 China

**Abstract:** In this paper, the changes of quenching stress and mechanical properties of 6061 aluminum alloy ingot under four heat treatment systems, namely room temperature water(25℃)quenching, room temperature water quenching+aging treatment(175℃), air cooling+60℃~80℃ water quenching+air cooling+aging treatment, air cooling+air cooling+aging treatment are discussed. It is found that 6061 aluminum alloy has high quenching sensitivity at 230℃~440℃. The mechanical properties are basically the same as those of room temperature water quenching.

**Keywords:** Heat treatment; 6061 aluminum alloy; Mechanical properties

### 引言

6061 铝合金以其耐腐蚀性强、机械加工效果好、可热处理等特征在型材生产、结构构建制造等领域得到广泛应用。随着 6061 铝合金市场需求量、使用量的不断增多, 对 6061 铝合金性能要求日渐提高。在此背景下, 有必要加强热处理对 6061 铝合金各方面性能影响研究, 通过研究, 改善 6061 铝合金热处理工艺, 保证 6061 铝合金型材质量, 以满足 6061 铝合金市场应用需求。

### 1 试验设计分析

#### 1.1 试验目的

随着 6061 铝合金需求量与使用量的不断增多, 市场与社会对 6061 铝合金及其应用, 提出了更高要求。提升 6061 铝合金综合性能, 成为保证 6061 铝合金型材应用质量的前提与基础。而 6061 铝合金综合性能的提升, 需依靠相应工艺手段, 如固溶、淬火等<sup>[1]</sup>。但在实践过程中, 6061 铝合金淬火过程中, 受热处理工艺影响, 易形成残余应力。过大的残余应力将对 6061 铝合金性能产生影响, 出现型材变形、断裂等问题。因此, 在铝合金热处理过程中, 如何控制热处理对 6061 铝合金组织、性能的影响, 成为相关企业以及工作人员关注的重点。对此, 加强热处理对 6061 铝合金铸锭淬火应力与力学性能影响的研究, 有利于认识 6061 铝合金淬火敏感区, 实现淬火制度的科学制定。从而为热处理工艺改善提供依据, 增强 6061 铝合金铸锭固溶、淬火效果。并在一定程度上, 为相关型材生产与加工, 提供有益指导。

#### 1.2 试验材料

在本次试验研究过程中, 选择规格为 4cm×8cm×20cm 的长方体 6061 铸态铝合金为试验材料。材料化学成分如表 1 所示。

表 1 试验材料化学成分表

成分	Si	Mg	Cu	Mn
质量分数	0.64±0.3	0.97±0.3	0.19±0.2	0.13±0.2

成分	Cr	Zn	Al	Ti	Fe
质量分数	0.07±0.3	≤0.05	Bal.	0.03±0.2	≤0.35

### 1.3 试验方法

在探究热处理对 6061 铝合金铸锭淬火应力与力学性能的影响过程，试验操作具体如下：

将试验样品分为四组（包括 A 组样品、B 组样品、C 组样品、D 组样品），做对比试验。

对四组试验样品，进行固溶处理，固溶温度为 530℃，固溶时间为三小时。

将经过固溶处理后的试验材料，进行升温加热处理，当温度达到 560℃之后，做保温处理，保温时间为 600 分钟。

设计 A 组样品热处理制度为“室温水（25℃）淬火”；B 组样品热处理制度为“室温水淬火+时效处理（175℃）”；C 组样品热处理制度为“风冷（440℃）+60℃~80℃水淬火+风冷”；D 组样品热处理制度为“风冷+60℃~80℃水淬火+风冷+时效处理”。

结合 6061 铝合金淬火敏感性研究，得知 6061 铝合金淬火敏感区为 230℃~445℃，当温度低于 230℃或高于 445℃时，6061 铝合金的淬火敏感性相对较低。对此，设计 C 组与 D 组样品第一次风冷处理后，温度控制在 440℃左右；第二次风冷处理后，温度控制在 25℃；B 组与 D 组样品时效处理温度是 175℃，时间为 480 分钟。

利用显微镜、扫描电镜、射线能谱仪等设备，对四组试验样品进行成分分析、性能分析，并做好数据统计工作。根据数据分析，获得试验结果。

## 2 试验结果分析

### 2.1 热处理对 6061 铝合金淬火应力的影响评价

在评价热处理对 6061 铝合金铸锭淬火应力影响时，应力测试主要以层削法为主，即以试验样品厚度方向为基准，进行层层铣削，根据试验样品变形情况，反映样品应力情况。经测试分析得出如表 2 所示结果。对表 2 进行分析，发现：四组样品中，A 组样品变形量最大，约为 0.63mm；D 组样品变形量则最小，约为 0.08mm。这在一定程度上表明：其一，室温水淬火下，6061 铝合金淬火应力最大；经人工时效、风冷处理之后的 6061 铝合金淬火应力较少。其二，人工时效在一定程度上能够降低 6061 铝合金淬火应力，因此经过人工时效处理后的 6061 铝合金淬火应力要明显低于未经人工时效处理后的 6061 铝合金淬火应力。其三，风冷处理能够在一定程度上，使 6061 铝合金在热处理过程中有效避开淬火敏感区（230℃~440℃），因此 D 组试验样品淬火之后的应力要明显小于 B 组试验样品。

表 2 四组样品淬火后变形情况

试验样品	A 组试验样品	B 组试验样品	C 组试验样品	D 组试验样品
变形情况	0.63mm	0.43mm	0.39mm	0.08mm

### 2.2 热处理对 6061 铝合金力学性能的影响评价

在评价热处理对 6061 铝合金力学性能影响时，需对试验样品屈服强度、试验样品抗拉强度、试验样品延伸率等进行测试。根据测试结果，明确不同热处理工艺下试验样品力学性能变化。经测试分析发现：

热处理制度不同，6061 铝合金淬火后所具有的力学性能不同，相对于 A 组试验样品、C 组试验样品以及 D 组试验样品而言，B 组试验样品屈服强度与抗拉强度最大，但所具有的延伸率最小。由于 D 组试验样品经淬火处理后，所具有的变形量最小，使其力学性能在一定程度上与 B 组试验样品相近。

利用硬度测试专用设备，对未经过热处理操作的样品与经过热处理操作的样品进行硬度分析，求取不同热处理制度下 6061 铝合金硬度平均值，得出如表 3 所示结果。由表 3 分析可知：经时效处理与未经时效处理的试验样品，硬度变化存在差异性，经时效处理的试验样品所具有的硬度相对较高。追其原因：6061 铝合金属于可热处理的时效硬化合金。与此同时，时效相同时，6061 铝合金硬度会随着温度的升高，而产生变化，其硬度变化呈现先上升后降低态势。追其原因：随着温度的不断提升，6061 铝合金固溶体浓度在一定程度上增加，受固溶强化作用的影响，6061 铝合金硬度增强，但当温度升高至一定条件时，6061 铝合金组织结构发生改变，从而影响铝合金硬度，出现先增加后降低变化形式。表明 6061 铝合金属于“时效硬化合金”<sup>[2]</sup>。根据这一特点，可通过时效处理，适当提升铝合金硬度，满足铝合

金型材硬度需求。

表 3 四组样品淬火后硬度情况

试验样品	A 组试验样品	B 组试验样品	C 组试验样品	D 组试验样品
硬度情况	81.5	128.1	77.9	125.1

为进一步验证热处理对 6061 铝合金力学性能的影响,对不同热处理制度下 6061 铝合金组织结构变化进行了分析。通过金相组织分析、能谱分析发现: 6061 铝合金在敏感区冷却过程中, 容易析出  $AlFeSi$  颗粒, 由于  $AlFeSi$  颗粒属于不可溶物质, 将对 6061 铝合金产生影响。当温度达到  $340^{\circ}C$  时, 6061 铝合金析出平衡相, 随着温度的升高, 淬火平衡相粗化, 这在一定程度上, 降低了固溶体浓度, 抑制铝合金后续时效过程中固溶强化作用的发挥<sup>[3]</sup>。因此, 综合分析热处理对 6061 铝合金淬火应力与力学性能的影响, 先通过风冷处理, 获得高过饱和度固溶体, 提升 6061 铝合金硬度, 并在  $60^{\circ}C \sim 80^{\circ}C$  的水中淬火到  $230^{\circ}C$ , 避开 6061 铝合金淬火敏感区, 控制温度对 6061 铝合金淬火应力的影响。之后在风冷处理、人工时效处理双重作用下, 确保 6061 铝合金型材综合性能。

### 3 结论

综上所述, 热处理工艺不同对 6061 铝合金淬火应力与力学性能的影响也不同。通常情况下: (1) 在  $230^{\circ}C \sim 445^{\circ}C$  条件下, 6061 铝合金淬火敏感度较高, 高于  $445^{\circ}C$  与低于  $230^{\circ}C$ , 6061 铝合金的淬火敏感度皆较低; (2) 在 6061 铝合金淬火敏感区,  $25^{\circ}C$  水淬火与  $60^{\circ}C \sim 80^{\circ}C$  的水淬火, 6061 铝合金力学性能无较大差异性, 但淬火应力发生改变,  $60^{\circ}C \sim 80^{\circ}C$  的水淬火, 铝合金淬火应力相对较低; (3) 可通过风冷处理, 水温度控制等方法, 对 6061 铝合金热处理工艺进行改善, 强化铝合金综合性能。

#### [参考文献]

- [1] 罗云, 刘莹, 胡永忠. 热处理对 6061 铝合金铸锭淬火应力及力学性能的影响[J]. 有色金属加工, 2015(04): 31-34.
  - [2] 管晓君, 张明山, 王俊升. 热处理工艺对 6061 铝合金硬度和导电率的影响[J]. 材料热处理学报, 2019(01): 83-90.
  - [3] 韩云, 刘维洲, 张旭东, 等. 固溶和时效处理对 6061 铝合金轮毂力学性能的影响[J]. 热加工工艺, 2018(20): 228-231.
- 作者简介: 黄丽娜, (1988.8.-), 应用物理, 湖南工业大学。