

## 6020 反向挤压在线淬火力学性能不合格分析

郭佛保<sup>1</sup>, 余巨攀<sup>2</sup>, 索有喜<sup>2</sup>, 周兵锋<sup>1</sup>, 郭淑兰<sup>1</sup>

(1. 广东润华轻合金有限公司, 广东东莞, 523000

2. 东莞市润华铝业有限公司, 广东东莞, 523000)

**摘要:** 本文扼要介绍了反向挤压在线水冷淬火6020-T8  $\Phi$ 24.2mm棒材在生产过程中, 部分产品力学性能偏低。主要从在线淬水冷热处理工艺进行优化改善, 通过高温灰化炉进行离线固溶验证、人工淬火延时验证和对不同棒温挤压在线淬火对比验证。公司检测中心进行数显洛氏硬度试验、拉伸试验、低倍组织试验和金相组织分析, 分析了力学性能不合格原因, 并找到合适的挤压生产工艺, 棒温控制(500+/-10)℃, 挤压速度5.2mm/s, 生产产品力学性能满足ASTM B211-12-e1标准要求。生产严格控制棒温, 目前公司生产产品力学性能稳定。

**关键词:** 6020铝合金; 在线淬火; 力学性能

### The Unqualified Analysis of On-line Quenching Mechanical Properties of 6020 Indirect Extrusion

Fobao Guo<sup>1</sup>, Jupan Yu<sup>2</sup>, Youxi Suo<sup>1</sup>, Bingfeng Zhou<sup>1</sup>, Shulan Guo<sup>1</sup>

(Guangdong Runhua Light Alloy Co., LTD. Guangdong Dongguan 523000, China

Dongguan Runhua Aluminium Co., LTD. Guangdong Dongguan 523000, China)

**Abstract:** This paper briefly introduces during the process of indirect extrusion on-line water cooling quenching production of 6020-T8  $\Phi$ 24.2mm bar, the mechanical properties of some products are low. It mainly optimized and improved from the on-line water cooling quenching heat treatment, through off-line solid solution verification by Outstanding Furnaces, artificial quenching delay verification and on-line quenching comparison verification for different rod temperatures. The testing center carried out digital Rockwell hardness test, tensile test, macrostructure test and metallographic structure analysis, analyzed the unqualified reasons of mechanical properties, and found a suitable extrusion production technology. The rod temperature was controlled at (500+/-10)℃. The extrusion speed is 5.2mm/s, the mechanical properties of the products meet the requirements of ASTM B211-12-e1 standard, With the strict control rod temperature, at present, the mechanical properties of the products produced by the company are stable.

**Key words:** 6020 aluminum alloy; on-line quenching; mechanical properties

引言

6020 铝合金是一种无铅的材料，适合于切屑加工，具有加工性能好、耐腐蚀等特点，常用于制造液压元件，如阀、油缸制动器件以及各种联结构<sup>[1]</sup>。反向挤压机与正向挤压机的区别是铸锭与挤压筒之间在挤压过程不产生相对运动。因此，与正向挤压机相比，反向挤压挤压所需的挤压力要小，挤压速度更快，金属流动均匀，制品的组织性能均匀、尺寸精度更高，很少甚至不会产生粗晶环。这就使得反向挤压机生产高精度、高质量的硬铝合金无缝管材和棒材具有明显的优势<sup>[2]</sup>。

公司在反向挤压机在线淬火生产汽车用 6020-T8  $\Phi 24.2\text{mm}$  精抽棒材，部分产品力学性能检验不合格，为找到力学性能不良原因，稳定品质，通过高温灰化炉进行离线固溶验证、人工淬火延时验证和对不同棒温挤压在线淬火对比验证，在公司检测中心进行数显洛氏硬度试验、拉伸试验、低倍组织试验和金相组织分析，检测分析了生产产品力学性能检验不合格原因，生产过程需严格控制挤压淬火工艺，生产棒温必须全检，确保挤压在线淬火生产产品头部 / 中部 / 尾部力学性能符合标准要求。

在实现在线淬火的条件，首先是铝合金制品流出模孔前的温度，必须达到固溶温度要求，且制品从开始流出模孔到制品挤压结束时的温度变化不大，均在固溶温度范围内；其次制品从模孔流出到进入淬火槽的时间基

本不超过该合金的淬火转移时间，且对材料的性能影响不大；第三，水槽经历的时间足以使铝合金制品冷却到规定的温度<sup>[3]</sup>。

2 试验材料及方法

2.1 试验材料

ASTM B211-12-e1 标准要求化学成分如下表 1，检测中心采用意大利 GNR 直读光谱仪检验试样化学成分如下表 1，成分符合 6020 标准要求。在 6020-T8 状态下合金的拉伸抗拉强度  $\geq 290\text{MPa}$ ，屈服强度  $\geq 270\text{MPa}$ ，断后伸长率  $\geq 12.0\%$ ，力学性能要求如下表 2。

2.2 生产工艺流程

6020-T8 铝合金棒材生产流程：挤压（热剥皮）→ 在线水冷淬火 → 拉直 → 锯切 → 打头 → 精抽 → 矫直 → 时效 → 成品锯切

在明晟 14MN 双动反向挤压机生产，采用棒径为 178mm 均匀化处理 6020 铸锭，铸锭长度 450mm，铸锭加热温度  $490 \sim 510^\circ\text{C}$ ，模具加热温度  $400 \sim 450^\circ\text{C}$ ，挤压筒加热温度： $420 \sim 430^\circ\text{C}$ ，挤压杆速度： $5.0 \sim 5.3\text{mm/s}$ ，出料口温度控制  $500 \sim 530^\circ\text{C}$ ，单边热剥皮 3mm，采用一出 2 孔模具高温挤压成  $\Phi 26.0\text{mm}$  棒材，在线水冷淬火生产，淬火后产品温度控制在

表 1 化学成分

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Sn	其他		Al
											单个	合计	
6020 标准	0.40-	$\leq$	0.30-	$\leq$	0.6-	$\leq$	$\leq$	$\leq$	$\leq$	0.9-	$\leq 0.05$	$\leq 0.15$	余量
	0.9	0.5	0.9	0.35	1.2	0.15	0.20	0.15	0.05	1.5			
实测	0.789	0.147	0.72	0.051	0.899	0.011	0.039	0.037	0.002	1.215	<0.05	<0.15	96.0

表 2 力学性能

合金状态	尺寸规格 mm	抗拉强度 MPa	屈服强度 MPa	断后伸长率 %	洛氏硬度 HRB
6020-T8	9.54~50.8	$\geq 290$	$\geq 270$	$\geq 12.0$	/

<50℃。

挤压产品长度约 9.5 米，挤压后产品拉直，头部去除 200mm，尾去除 300mm，按定尺 3 米长度锯切，标示头尾，产品进行打头处理，打头长度 100-150mm，对产品进行精抽， $\Phi 26.0\text{mm}$  毛坯精抽至  $\Phi 24.2\text{mm}$ 。精抽后产品进行矫直处理，产品矫直后直线度控制在  $\leq 0.5\text{mm/m}$ 。

产品进行人工时效，时效工艺：加热温度  $175\pm 5^\circ\text{C}$ ，保温时间 8h；成品锯切定尺锯切长度 3000mm。

### 2.3 试验方案

产品力学性能与挤压淬火热处理温度和淬火转移时间有关系，为验证挤压剪压余过程停顿（挤压剪压余停顿时间 10~13s）或生产故障停顿的淬火延时对力学性能的影响，取挤压中料切成 5 个 200mm 长验证试样，在高温灰化炉进行离线固溶验证和淬火延时验证，验证

方案如表 3；分别选择  $510^\circ\text{C}$ 、 $525^\circ\text{C}$ 、 $540^\circ\text{C}$  三个离线固溶温度，采用相同保温时间和淬火转移时间进行离线固溶淬火验证；淬火延时验证采用固溶温度  $525^\circ\text{C}$  保温 60min，水冷淬火转移时间为 12s、60s、90s。

一般来说，在不引起材料过烧的条件下，淬火加热温度愈高，合金中的合金元素和强化相固溶得越彻底，则合金在淬火和时效后力学性能也愈高<sup>[3]</sup>。挤压在线淬火温度主要与棒温、模具温度、挤压筒温度和挤压速度等有关，为验证确认棒温对力学性能影响，在其他挤压参数不变情况下，选择  $470^\circ\text{C}$ 、 $480^\circ\text{C}$ 、 $500^\circ\text{C}$  和  $510^\circ\text{C}$  三个温度进行在线挤压生产验证，在线淬火生产验证验证方案如表 4；验证试样标识后随生产大货一起精抽、时效作业。

### 2.4 试验取样

反向挤压机挤压模具出料口到挤压机出口距离 1.55mm，挤压模具出料口到冷却水槽距离 2.85m，反向

表 3 离线固溶和淬火延时验证

验证方案	离线固溶	水冷淬火转移时间	时效工艺
方案 1	$510^\circ\text{C} * 60\text{min}$	12s	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$
方案 2	$525^\circ\text{C} * 60\text{min}$	12s	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$
方案 3	$525^\circ\text{C} * 60\text{min}$	60s	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$
方案 4	$525^\circ\text{C} * 60\text{min}$	90s	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$
方案 5	$540^\circ\text{C} * 60\text{min}$	12s	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$

表 4 在线淬火生产验证

方案	棒温 (前端) $^\circ\text{C}$	挤压筒温 $^\circ\text{C}$	模具温度 $^\circ\text{C}$	挤压杆速度 mm/s	出口温 $^\circ\text{C}$	淬火后产品 温度 $^\circ\text{C}$	时效工艺
方案 A	480	420	420	5.2	493	30	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$
方案 B	490	420	420	5.2	501	30	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$
方案 C	500	420	420	5.2	511	31	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$
方案 D	510	420	420	5.2	518	32	$175^\circ\text{C} * 8\text{h}$



图1 14MN 明晟反向挤压机

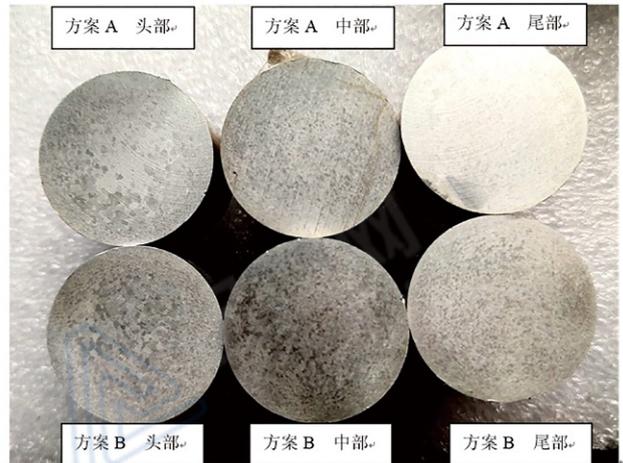


图2 低倍组织

表5 离线固溶和淬火延时验证试验结果

验证方案	离线固溶 + 人工时效	水冷淬火转移时间	硬度 HRB	抗拉强度 MPa	屈服强度 MPa	断后伸长率 %
方案 1	510℃ *60min+175℃ *8h	12s	60.0	319	248	16.5
方案 2	525℃ *60min+175℃ *8h	12s	64.0	333	263	13.0
方案 3	525℃ *60min+175℃ *8h	60s	62.2	327	260	13.5
方案 4	525℃ *60min+175℃ *8h	90s	62.9	330	260	13.5
方案 5	540℃ *60min+175℃ *8h	12s	66.5	335	272	13.5

表6 在线水冷淬火生产验证试验结果

样品	验证方案	硬度	抗拉强度	屈服强度	断后伸长率 A
		HRB	MPa	MPa	%
头部 (去除 200mm)	方案 A	58.3	320	300	14.0
	方案 B	60.5	336	314	13.5
	方案 C	63.2	345	326	13.0
	方案 D	65.6	350	330	13.0
中部 4.5m	方案 A	57.1	310	289	14.0
	方案 B	59.1	328	308	13.0
	方案 C	62.6	335	312	13.0
	方案 D	64.5	341	324	13.0
尾部 (去除 300mm)	方案 A	55.4	291	268	13.5
	方案 B	58.6	306	286	13.5
	方案 C	60.6	318	300	13.0
	方案 D	62.5	325	310	12.5

挤压机如下图 1 所示。挤压完成后挤压剪压余过程有 10s 左右停顿，挤压杆速度 5.2mm/s，挤压产品挤出速度 8.09m/min，包括挤压剪压余停顿时间 10s，尾料淬火延时时间约 31s。对不同挤压棒温在线淬火生产验证料进行标识，在挤压头部（去除约 200mm）位置、中部 4.5m 位置、尾部（去除约 300mm）位置切取 200mm 长试样。

### 3 试验结果和分析

#### 3.1 离线固溶和淬火延时验证试验结果（表 5）

对比方案 1、方案 2 和方案 5，不同的离线固溶温度 510℃、525℃、540℃，随着淬火温度提高，力学性能提高，固溶温度 540℃，力学性能最高，力学性能强度符合 6020-T8 标准要求；在线挤压应选择合适固溶热处理温度，避免在挤压生产过程中因挤压出口温过高或挤压速度过快出现挤压表面裂纹、拖烂缺陷。

对比方案 2、方案 3 和方案 4，在相同 525℃固溶温度，水冷淬火转移时间 12s、60s 和 90s 检测力学性能无明显区别，说明淬火转移时间在 90s 内对 6020 合金材料的力学性能影响不大。

#### 3.2 在线水冷淬火生产验证试验结果（表 6）

方案 A 棒温 480℃、方案 B 棒温 490℃、方案 C 棒温 500℃和方案 D 棒温 510℃，挤压产品头部、中部、尾部硬度、抗拉强度和屈服强度呈递减趋势；方案 A 棒温 480℃屈服强度 268MPa 低于标准要求，挤压在线水冷淬火温度低，合金中的合金元素和强化相固溶未彻

底；方案 B、C、D，试样力学性能符合标准要求，方案 D 棒温 520℃，挤压在线水冷淬火温度高，合金中的合金元素和强化相固溶彻底，抗拉强度和屈服强度最高。

#### 3.3 低倍组织分析

方案 A、B 头部、中部和尾部进行低倍检验，低倍组织如附图 2，头部、中部和尾部晶粒尺寸逐渐细小，头部组织出现晶粒再结晶长大，在反向挤压过程产品头部温度高，尾部温度低，低倍组织呈现尾部位置晶粒细小。

#### 3.4 金相组织分析

取力学性能合格方案 C 尾部产品 1/2 半径位置进行金相组织分析，组织侵蚀采用“双侵蚀剂”，先用 Weck 试剂侵蚀着色，采用 Keller 试剂侵蚀，侵蚀后用 25%HN03 清洗，清水冲洗后喷酒精电风吹干在金相显微镜观察拍照，6020-T8 金相组织图 4，图 3 为研磨抛光后金相组织，合金基体中存在大量尺寸在 10 微米左右的低熔点相，正是因为这中物质的存在，使得 6020 合金具有良好的切屑性能<sup>[5]</sup>。

### 4 结论

4.1 6020-T8 反向挤压精抽棒材，挤压头部、中部、尾部检验纵向力学性能总体成下降的趋势，力学性能偏低主要原因为挤压生产在线淬火温度低，合金中的合金元素和强化相固溶未彻底。



图 3 1/2 半径位置金相组织（抛光状态）-200×

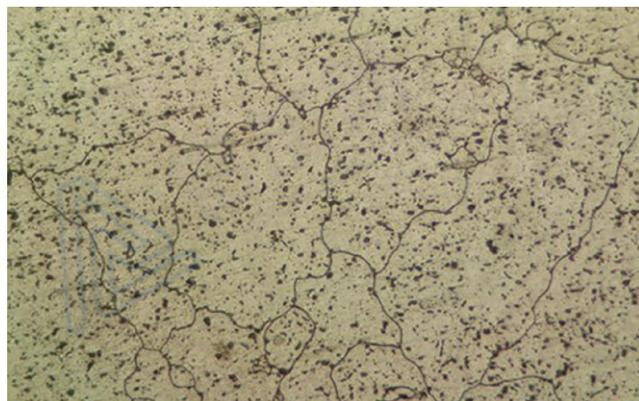


图 4 1/2 半径位置金相组织 -100×

**4.2** 离线固溶人工淬火延时验证, 水冷淬火转移时间 13s、60s 和 90s 检测力学性能无明显区别, 说明淬火转移时间在 90s 内对 6020 合金材料的力学性能影响不大。挤压在线淬火生产过程剪压余停顿 10s 左右淬火延时对力学性能影响不大。

**4.3** 生产过程需严格挤压生产工艺, 生产棒温必须全检, 确保挤压在线淬火生产产品头部 / 中部 / 尾部力学性能符合标准要求。挤压生产工艺棒温控制 (500±10) °C, 挤压速度 5.2m/min, 生产产品力学性能满足 ASTM B211-12-e1 标准要求, 目前公司生产产品力学性能稳定。

### 参考文献

[1] 贾江滢, 徐家福, 富东惠, 王忠保, 侯振德, 加载速率对6020铝合金材料力学性能影响的实验研究 实验力

学, 2008年3月, 第二十三卷第一期

[2] 龚燃, 铝及铝合金反向挤压装备的应用及发展现状, 有色金属加工, 2012年6月, 第41卷第3期

[3] 梁世斌, 吴维光, 王国军, <<铝合金挤压加工技术手册>>2019年8月第一版, 3.11在线淬火, 618页

[4] 梁世斌, 吴维光, 王国军, <<铝合金挤压加工技术手册>>2019年8月第一版, 第三章淬火, 611页

[5] 黄志其, 陈慧, 刘志铭, 刘勇纯, 尹志民, 两种6020-T8铝合金棒材的组织与性能比较, 轻合金加工技术, 2008年06期

**第一作者简介:**郭佛保 (1987年-), 男, 江西赣州, 广东润华轻合金有限公司, 检测中心主任, 研究方向: 检测技术及应用, 铝合金材料检测和研发, 联系电话: 18682404262, 邮箱: qcsa@runhuagroup.com, 地址: 东莞市寮步镇华南工业园金富二路8号