

# 时效处理后铝合金焊接接头组织和性能的变化

丁亚茹<sup>1,2</sup>, 陈芙蓉<sup>1</sup>

(1. 内蒙古工业大学 材料科学与工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

(2. 内蒙古机电职业技术学院, 内蒙古 呼和浩特 010051)

**摘要:** 主要研究时效处理温度和时效保温时间对 7075 铝合金激光焊接接头组织和性能的变化规律, 使用扫描电镜观察焊接过程中形成的链条状的 T 相随着保温时间的延长, 逐渐熔断进入基体, 时效处理温度 120 °C 保温 24 h 后 T 相呈均匀分布的球状, 减少了其对基体的割裂作用。通过 TEM 和 SAED 花样可以看出 $[011]_{Al}$ 、 $[\bar{1}12]_{Al}$ 、 $[001]_{Al}$ 晶带轴均析出纳米级强化相  $\eta'$  相, 阻碍位错运动, 提高焊缝的力学性能, 随着时间的延长  $\eta'$  相尺寸、分布密度发生变化, 逐渐变成  $\eta$  相。通过对比显微硬度和抗拉强度, 时效处理温度 120 °C 保温 24 h 时 7075 铝合金激光焊接头的力学性能最好。

**关键词:** 7075 铝合金; 激光焊接头; 时效处理; 纳米级强化相

中图分类号: TG456.7; TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2021)11-4051-08

铝合金广泛地应用于航空、航天、交通运输领域, 是主要的结构材料之一, 实际应用中经常用焊接的方式成形<sup>[1-4]</sup>, 但同时也存在着焊接接头软化, 强度、硬度低等现象。目前, 大量学者都致力于研究 Al-Zn-Mg-Cu 合金及焊接接头的时效处理过程中析出相的演变及对性能的影响。李福泉等人研究了铝合金激光、激光复合焊接头的组织和性能, 揭示了接头软化主要是强化相数量的减少导致<sup>[5-7]</sup>。Paul A. Rometsch、Kai Wen、任建平、Feng Chun 等人研究了 Al-Zn-Mg-Cu 合金时效处理后析出相对硬度强度的影响机理<sup>[8-11]</sup>。Miao Zhang 等人研究了 Al-Zn-Mg-Cu 合金中加入 Sc、Zr 元素在时效处理后的强化作用<sup>[12]</sup>。D. Maisonnette<sup>[13]</sup>、董春林<sup>[14]</sup>等人研究搅拌摩擦焊后热处理对力学性能的影响和组织变化。王旭等人研究了固溶、时效处理对 7449 铝合金激光电弧复合焊接头的组织、性能的影响<sup>[15]</sup>。李国伟等人研究了 7075 铝合金脉冲变极性等离子弧焊接头的双级时效行为<sup>[16]</sup>。本工作主要是研究 3 mm 厚 7075 铝合金激光焊接头的时效处理后组织和性能的变化规律。分析不同的时效时间和温度对 T 相的数量及形状的变化规律, 分析时效过程中强化析出相的演变机理, 及时效过程中抗拉强度、硬度的变化规律。

## 1 实验

试验采用 7075-T6 处理的铝合金板材, 具体化学

成分如表 1 所示, 板材尺寸规格为 200 mm×100 mm×3 mm, 抗拉强度为 565 MPa。使用 IPG Potonics 公司生产的 IPG YLS-10000 型光纤激光器进行焊接, 焊接方法采用对接焊, 焊接方向垂直于铝合金板轧制方向, 焊接功率为 2300 W, 焊接速度为 45 mm s<sup>-1</sup>, 离焦量为 1, 保护气体为 99.99% 的工业氩气, 流量为 15 L/min。

使用 ZDHX4-8-600 铝合金热处理炉进行热处理, 固溶处理 470 °C×1 h (淬火, 转移时间小于 10 s) 后进行时效处理, 表 2 为时效处理温度和时间的选择, 时效处理温度范围为 100~180 °C, 每间隔 20 °C 选择一个处理温度, 保温时间范围为 0.5~32 h, 小于 2 h 选择的保温时间为 0.5、1、2 h, 当保温时间大于 2 h 后选择每 2 h 设置一个保温时间。

## 2 结果与分析

### 2.1 时效处理对 7075 铝合金激光焊接头组织形貌的影响

#### 2.1.1 焊接接头显微组织形貌

表 1 7075 铝合金的化学成分

Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Ti	Fe	Si	Al
5.52	2.72	1.5	0.08	0.22	0.02	0.23	0.07	Bal.

收稿日期: 2020-11-17

基金项目: 国家自然科学基金 (51765053); 内蒙古自治区草原英才 (DC1800007434); 内蒙古自治区轻金属材料重点实验室 (2017MS0502)

作者简介: 丁亚茹, 女, 1981 年生, 博士生, 副教授, 内蒙古工业大学, 内蒙古 呼和浩特 010051, E-mail: 13518648@qq.com

表 2 7075 铝合金时效处理温度和时间

Table 2 Temperature and time of aging treatment for 7075 aluminum alloy

Solid solution treatment	Aging treatment temperature/°C	Aging treatment time/h
Heating temperature 470 °C, holding time 1 h	100	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32
	120	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32
	140	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32
	160	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32
	180	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32

7075 铝合金光纤激光焊接头显微组织如图 1 所示, 激光焊接头主要由焊缝区(WZ)、热影响区(HZ)和母材组成(BM)。焊缝区可以分为两部分, 一部分由大量等轴晶组成, 另一部分是沿散热方向靠近熔合线至热影响区附近生长的柱状晶区, 热影响区出现不完全再结晶, 但轧制方向依旧清晰可见。

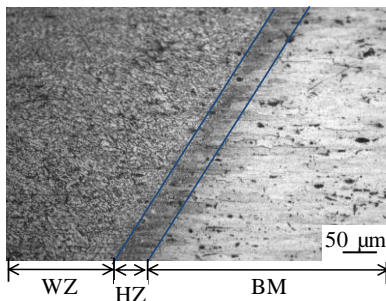


图 1 7075 铝合金光纤激光焊接头显微组织

Fig.1 Microstructure of laser welding joint of 7075 aluminum alloy

采用扫描电镜电子背散射衍射(EBSD)对母材与焊接接头进行观察, 并进行 EDS 能谱分析。图 2a 是母材的显微组织形貌, 可以发现其存在少量 3~15 μm 的  $Al_{95.93}Zn_{1.41}Mg_{0.41}Cu_{2.25}$  第二相, 形状呈长条状。图 2b 是焊缝的显微形貌, 焊缝组织出现大量的分布于晶界处宽 0.2 μm 的链条状析出物。图 2d 为析出相的 EDS 能谱, 可以看出, 该析出物主要成分为 Al、Zn、Mg、Cu, 即为 T 相。呈链条状, 该 T 相是由于激光焊速熔速冷的情况下产生合金元素分布不均匀的现象, 冷却过程中析出 T 相含合金元素较多, 比母材偏析产生的第二相的合金元素含量高, 这种链条状的 T 相对基体起到割裂作用, 对焊缝的力学性能具有不利的影响。T 相具体成分为  $Al_{84.64}Zn_{8.07}Mg_{3.69}Cu_{3.61}$ , 与母材少量存在的相进行对比, 该析出相尺寸小、数量多, 且均匀分布。焊缝析出大量的链条状 T 相, 对基体产生割裂作用, 焊缝区的力学性能明显降低。

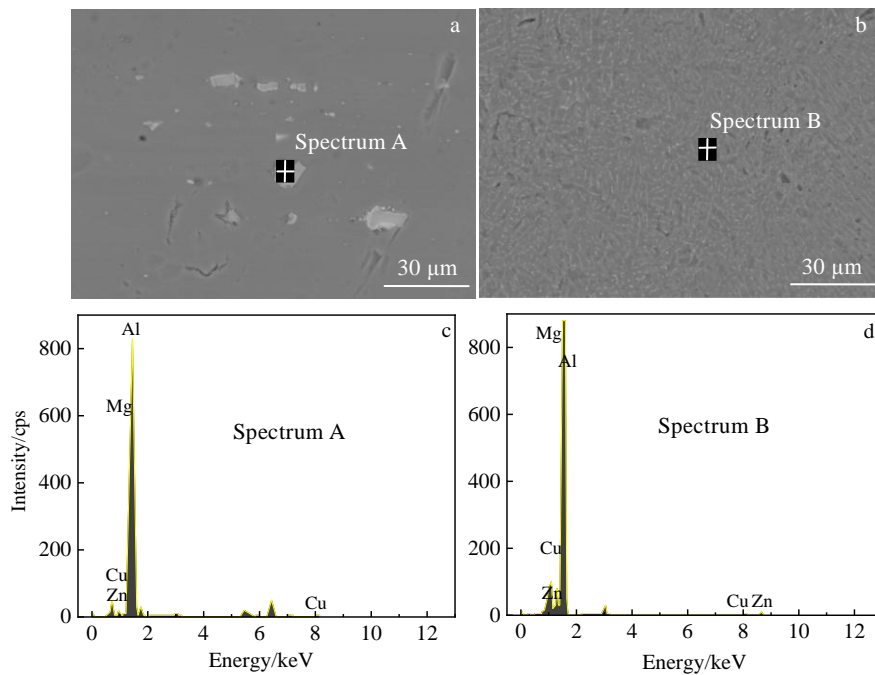


图 2 母材与焊缝的显微组织和 EDS 能谱

Fig.2 Microstructures (a, b) and EDS spectra (c, d) of base metal (a, c) and weld zone (b, d)

2.1.2 时效时间对焊缝显微组织影响

采用 EBSD 对 7075 铝合金激光焊后热处理的焊缝进行观察, 分析不同热处理温度和热处理时间下焊缝内部组织和颗粒的变化。图 3 为时效处理温度 120 °C 保温 6、14、24、32 h 的显微组织形貌, 图 3a 为保温时间 6 h, 显微组织为接近于焊态的粗大的链状析出相, 随着时间的延长, 保温时间达到 14 h 时, 如图 3b 可以看出链状析出相出现了熔断现象, 部分析出相由链状变成了球状, 且析出相数量减少。时间继续延长, 图 3c 为保温 24 h 的焊缝显微组织, 析出相全部变成

了球状, 尺寸数量明显减小, 图 3d 为保温 32 h 的焊缝显微组织, 与保温 24 h 时的焊缝显微组织进行比较, 析出相的尺寸、形状几乎不变, 数量减少但不明显。随着时效时间的延长, 析出相逐渐熔入到基体里, 数量、尺寸明显减小, 当保温 24 h 以后变化不明显。

使用 EDS 对不同时效时间下焊缝组织进行主要合金元素分析, 图 4a、4b、4c、4d 分别为 120 °C 时效处理 6、14、24、32 h 的 EDS 能谱, 可以看出在选取的测试点周围进行元素分析, 析出相主要是基体 Al, 同时含有 Zn、Mg、Cu, 析出相为 T 相。

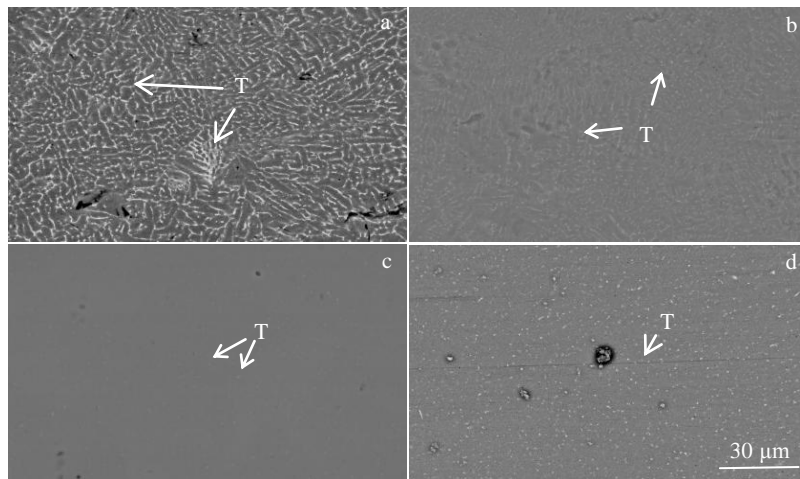


图 3 7075 铝合金激光焊缝 120 °C 保温 6、14、24、32 h 时效处理的显微组织

Fig.3 Microstructures of laser weld zone in 7075 aluminum alloy after aging treatment at 120 °C for 6 h (a), 14 h (b), 24 h (c) and 32 h (d)

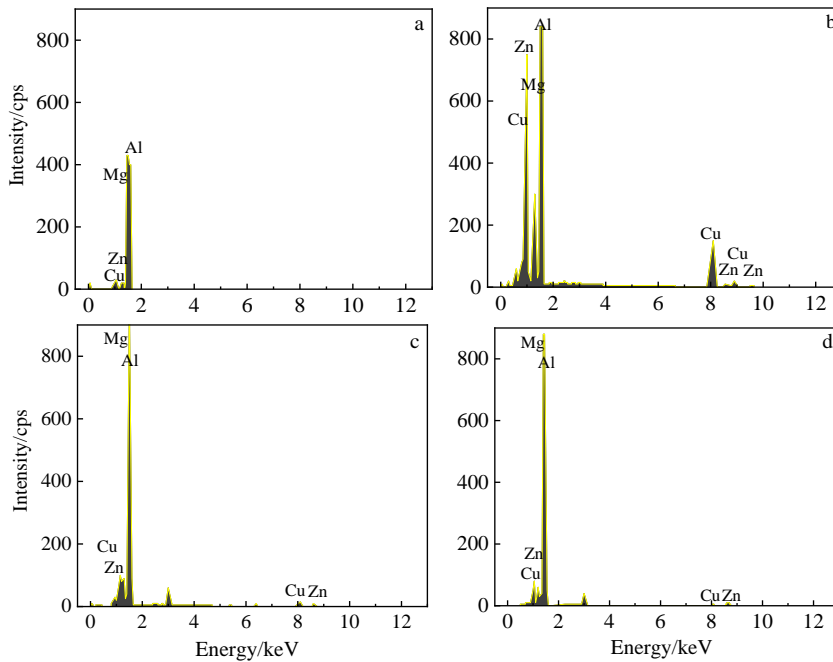


图 4 7075 铝合金激光焊缝 120 °C 保温 6、14、24、32 h 时效处理的 EDS 能谱

Fig.4 EDS spectra of laser weld zone in 7075 aluminum alloy after aging treatment at 120 °C for 6 h (a), 14 h (b), 24 h (c) and 32 h (d)

表 3 为各时效时间的焊缝晶粒内部 T 相的 EDS 分析结果, 对比焊态的析出相成分, 时效处理后 T 相的铝含量均有所增加, 时效保温时间 6、14 h 的 T 相铝含量变化不大, 24、32 h 的 T 相铝含量增加较多。分析原因, 随着时间的延长, T 的尺寸、数量均变小, 当时效处理温度 120 °C 保温 24 h 后, 全部呈球状 T 相, 分析结果中 T 相的成分含有部分基体成分, 所以出现 Al 元素含量有所增加, 而其他 3 种合金元素含量降低的现象。

2.1.3 时效温度对焊缝显微组织的影响

图 5 为焊态和各时效温度下保温 24 h 时效的显微组织照片, 图 5b、5c、5d、5e、5f 分别为时效温度 100、120、140、160、180 °C 保温 24 h 时效处理的焊缝显微组织照片。对比图 5a 焊态焊缝的链状析出相, 时效处理 100、120、140、160、180 °C 温度下的析出相均出现熔断现象, 析出相呈现球状, 且尺寸和数量明显减小, 随着时效温度的升高, 析出相的尺寸、数量、形状均相似。

图 6 为 7075 铝合金激光焊接头热处理前后的焊缝组织 EDS 能谱, 同样对不同时效温度保温 24 h 后的析出相进行主要合金元素分析, 结果表明析出相以基体 Al 元素为主, 含有其他 Zn、Mg、Cu 3 种合金元素, 可以得知析出相为 T 相。

表 4 为不同时效温度焊缝晶粒内部 EDS 分析结果, 可以看出时效处理后其他几个温度的焊缝 T 相中的元素含量变化与 120 °C 的相同, 均出现 Al 元素含量的增加, 而其他 3 种合金元素含量降低, 主要原因也是焊态的 T 相由链条状变成球状, 尺寸过小, 由于分析

相的成分中含有部分基体成分, 所以 Al 元素含量偏高, 而合金元素含量偏低。

2.2 时效处理对 7075 铝合金激光焊接头析出强化相的影响

图 7 为 7075 铝合金时效处理温度 120 °C 保温 24 和 32 h 时效处理后的激光焊缝 SEM 照片, 可以看出保温 24 h 后即可析出大量的弥散分布的纳米级析出相, 析出相为盘状(图 7a)选 5 个盘状相为测试位置, 使用 Digital Micrograph 软件测量其直径  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_5$  分别为 2.737、3.24、4.304、2.594、3.521 nm, 平均直径为 3.279 nm; 同时取 5 个位置测得其厚度  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ 、 $d_5$  分别为 0.912、1.040、0.731、0.781、1.170 nm, 平均厚度为 0.985 nm。

图 7b 为保温 32 h 时的焊缝 SEM 照片, 选取的 5 个盘状相的直径  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ 、 $L_5$  分别为 4.11、3.87、4.14、4.02、3.85 nm, 平均直径为 3.998 nm, 比 24 h 时效处理析出相的直径增大了 0.719 nm, 5 个盘状相的厚度  $d_1$ 、

表 3 120 °C 不同时效时间焊缝晶粒内部 EDS 分析

Table 3 EDS analysis results of the interior grain of weld zone at 120 °C for different aging time (at%)

Element	Al	Zn	Mg	Cu
Weld	84.64	8.07	3.69	3.61
120 °C ×6 h	88.48	4.38	4.91	2.23
120 °C ×14 h	85.28	5.08	6.93	2.64
120 °C ×24 h	93.49	2.95	3.02	0.55
120 °C ×32 h	90.74	3.41	4.31	1.54

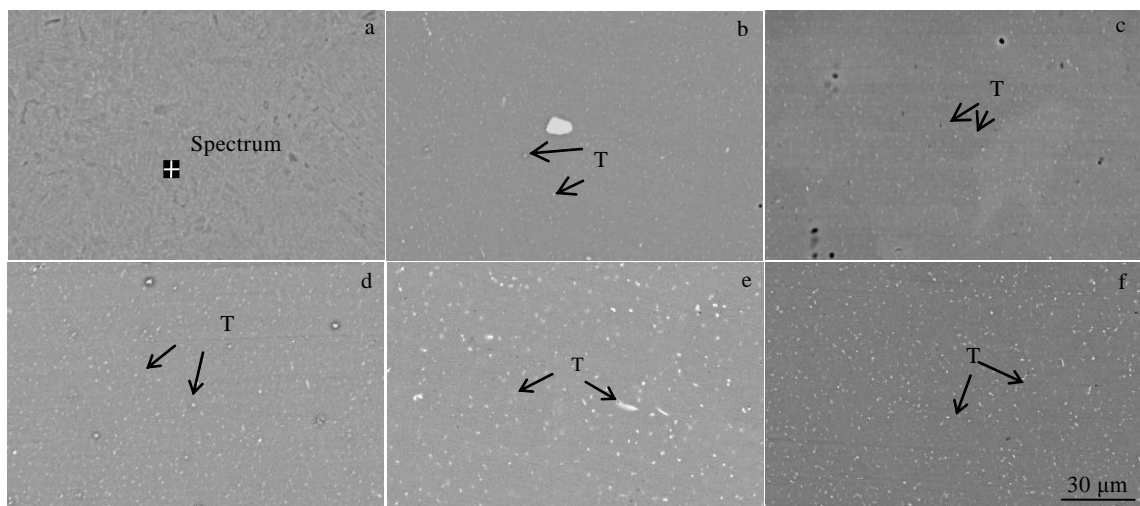


图 5 7075 铝合金激光焊缝不同时效温度保温 24 h 的显微组织

Fig.5 Microstructures of 7075 aluminum alloy laser weld zone at different aging temperature for 24 h: (a) without aging, (b) 100 °C, (c) 120 °C, (d) 140 °C, (e) 160 °C, and (f) 180 °C

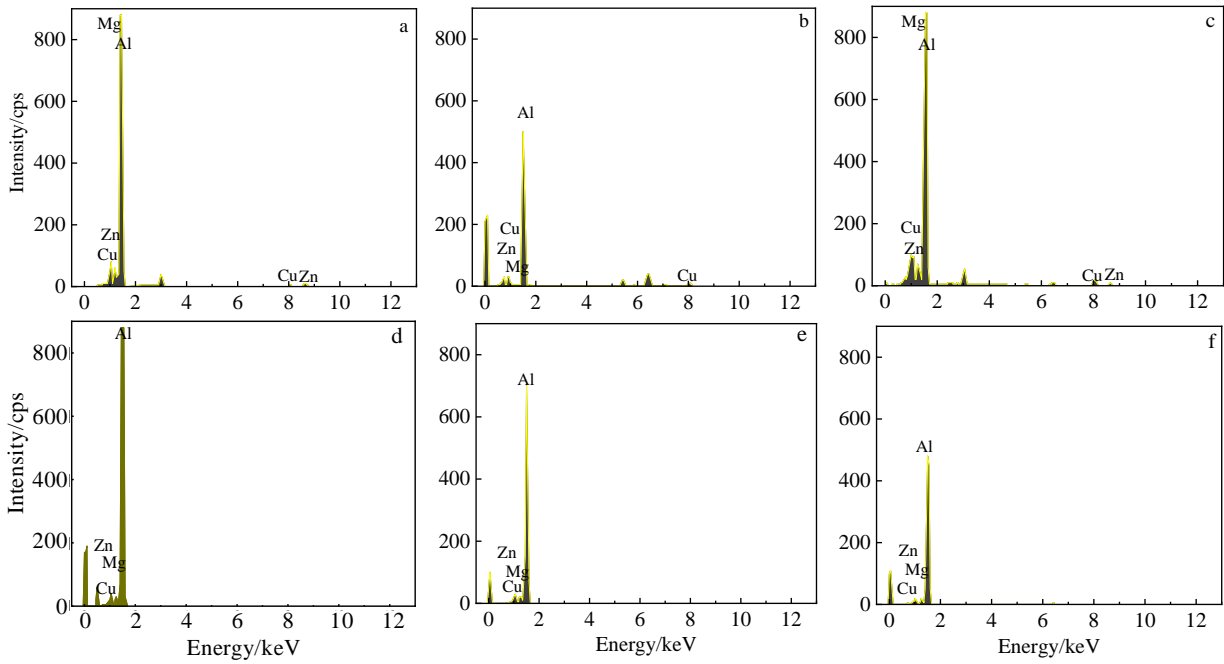


图 6 7075 铝合金激光焊缝不同时效温度保温 24 h 的 EDS 能谱

Fig.6 EDS spectra of 7075 aluminum alloy laser weld zone after aging treatment at different temperatures for 24 h: (a) without aging, (b) 100 °C, (c) 120 °C, (d) 140 °C, (e) 160 °C, and (f) 180 °C

$d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ 、 $d_5$  分别为 1.95、1.61、1.75、1.41、1.38 nm, 平均厚度为 1.62 nm, 比保温 24 h 时效处理析出相的厚度增大了 0.635 nm, 相对于保温 24 h 时效处理尺寸而言, 直径比厚度增加的要明显, 也就是相析出后, 时效保温时间继续延长至 32 h, 析出相的尺寸变大、密度明显减小, 进而使焊缝的性能发生改变。

分析焊接接头固溶时效处理后相的析出顺序, 主要为: S— $\alpha$ +GP 区— $\alpha$ + $\eta'$ — $\alpha$ + $\eta$ , 时效初期析出与基体共格的 GPI 区和 GPII 区, 随着时效时间的延长, 生成稳定的  $\eta'$  相, 继续保温,  $\eta'$  逐渐发散转变为亚稳定的  $\eta$  相<sup>[17]</sup>。对时效温度为 120 °C 保温 24 和 32 h 的析出相分别进行标定, 图 8a、8b、8c 为时效温度为 120 °C 保温 24 h 不同晶带轴的 SAED 花样。图 8a 为保温 24 h 的 [011]<sub>Al</sub> 晶带轴 SAED 花样, 在 {200}<sub>Al</sub> 的 1/3 和 2/3 处分别出现了衍射斑点, 说明析出的是与基体呈半共格的  $\eta'$  相, 是以 GP 区为形核核心继续长大形成的或者在高温时效下直接形成的, 图 8b 为保温 24 h 时  $[\bar{1}12]_{Al}$  晶带轴 SAED 花样, 在 {220}<sub>Al</sub> 的 1/3 和 2/3 处出现了半共格的  $\eta'$  相衍射斑点, 图 8c 为保温 24 h 时 [001]<sub>Al</sub> 晶带轴 SAED 花样, 在 {020}<sub>Al</sub> 的 1/3 和 2/3 处半共格的  $\eta'$  相衍射斑点。由于  $\eta'$  相与基体呈半共格关系, 对位错运动较强的阻碍作用<sup>[18]</sup>, 所以该相为合金的主要强化相, 且具有更好的高温稳定性, 有效地提高焊接接头的力学性能。

当保温时间继续延长到 32 h 时, 析出强化相发生

表 4 不同时效温度保温 24 h 的焊缝晶粒内部 EDS 分析结果

Table 4 EDS analysis results of the interior grain of welds zone at different aging temperatures for 24 h (at%)

Element	Al	Zn	Mg	Cu
Weld	84.64	8.07	3.69	3.61
100 °C ×24 h	92.66	2.28	2.90	2.16
120 °C ×24 h	93.49	2.95	3.02	0.55
140 °C ×24 h	92.73	2.38	1.45	3.44
160 °C ×24 h	92.93	2.60	0.32	4.16
180 °C ×24 h	93.83	2.33	2.40	1.44

了变化, 图 8d 为时效温度 120 °C 保温 32 h 时 [001]<sub>Al</sub> 晶带轴 SAED 花样, 对比保温 24 h 的 [001]<sub>Al</sub> 晶带轴 SAED 花样, 在 {020}<sub>Al</sub> 的 1/3 和 2/3 处析出相的衍射斑点逐渐发散, 已经向非共格的亚稳定相  $\eta$  相转变, 导致焊接接头的力学性能随之降低。

### 2.3 时效处理对 7075 铝合金激光焊接头的力学性能的影响

对焊接接头的显微硬度(HV)进行测量, 母材显微硬度最高(1690 MPa), 焊缝中心显微硬度最低(1170 MPa), 焊缝中心的显微硬度为母材显微硬度的 80.3%, 究其原因, 母材是经过 T6 处理的轧制态, 而焊缝区是铸态并未经过任何处理, 且析出大量的链条状 T 相, 对基体产生割裂作用, 焊缝区显微硬度明显降低。通过时效处理改善 7075 铝合金激光焊接头的硬度, 观察不同时效处理时间、温度对显微硬度的影响。

#### 2.3.1 时效处理对 7075 铝合金激光焊接头的显微硬度的影响

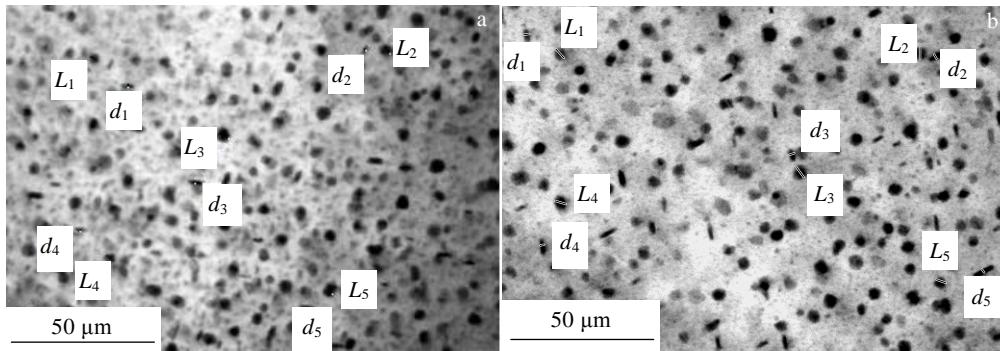


图 7 7075 铝合金 120 °C 保温 24、32 h 时效处理后焊缝 SEM 照片

Fig.7 SEM images of 7075 aluminum alloy laser weld zone after aging treatment at 120 °C for 24 h (a), 32 h (b)

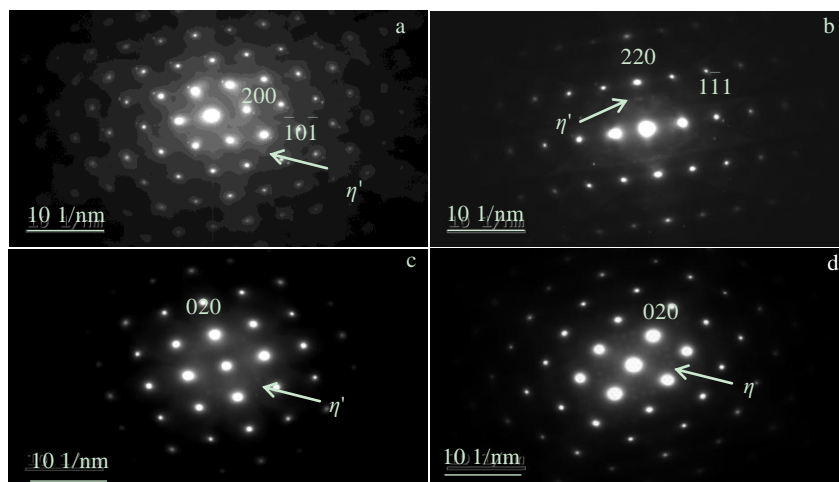


图 8 7075 铝合金 120 °C 保温 24 h、32 h 时效处理后焊缝 SAED 花样

Fig.8 SAED patterns of 7075 aluminum alloy weld zone after aging treatment at 120 °C for 24 h (a-c), and 32 h (d)

图 9 为 7075 铝合金激光焊缝随着保温温度和保温时间显微硬度的变化。时效处理温度 120 °C 时，随着保温时间的延长，显微硬度先增大，当保温 24 h 时出现硬度最大值 1590 MPa，比焊态的显微组织提高了 28%，随后稍有下降。究其原因，其一是激光焊接头析出大量的链条状 T 相，在时效过程中，T 相逐渐熔断进基体，尺寸和数量逐渐减小，24 h 时变成球状，对基体的割裂作用减小；其二，时效过程中析出纳米级强化相，与基体半共格，阻碍位错运动。

### 2.3.2 时效处理对 7075 铝合金激光焊接头抗拉强度的影响

测得时效处理温度 100、120、140、160、180 °C 的 7075 铝合金激光焊抗拉强度实验，所有试件在焊接接头处断裂。7075 铝合金激光焊缝，抗拉强度为 325 MPa，为母材的 58%。如表 5 所示，随着温度的升高，抗拉强度增大，时效温度为 120 °C 达到最大值 406.5 MPa，比焊态抗拉强度提高了 24.9%，为母材抗拉强

度（565 MPa）的 70%。时效温度为 120 °C，时效时间为 6、14、24、32 h，抗拉强度随着时间的延长，其变化规律与硬度的变化一致，先增大再减小，最大值依然出现在时效处理 120 °C 保温 24 h 时。

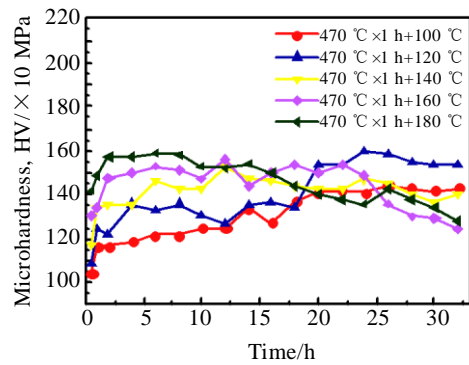


图 9 7075 铝合金激光焊缝时效处理显微硬度

Fig.9 Microhardness of 7075 aluminum alloy laser weld zone after aging treatment

表 5 7075 铝合金激光焊缝时效处理抗拉强度

Table 5 Tensile strength of 7075 aluminum alloy laser weld zone after aging treatment (MPa)

Temperature	100 °C	120 °C	140 °C	160 °C	180 °C
Weld	-	325	-	-	-
6 h	-	360	-	-	-
14 h	-	380	-	-	-
24 h	360	406.5	340	370	360
32 h	-	356	-	-	-

### 3 结 论

1) 7075 铝合金激光焊缝硬度达到 1170 MPa, 为母材的 80.3%, 抗拉强度为 325 MPa, 为母材的 58%, 时效处理 120 °C 保温 24 h 时显微硬度和抗拉强度出现最大值, 显微硬度达到 1590 MPa, 比焊态的显微硬度提高了 28%, 抗拉强度达到 406.5 MPa, 比焊态抗拉强度提高了 24.9%。

2) 焊接过程中形成链条状的 T 相, 时效处理使 T 相逐渐熔入基体变成球状, 尺寸和数量都变小, 达到显微硬度和强度的峰值后, T 相的尺寸和数量基本不变。

3) 7075 铝合金激光焊缝时效处理 120 °C 保温 24 h 时  $[011]_{Al}$ 、 $[\bar{1}12]_{Al}$ 、 $[001]_{Al}$  晶带轴的 SAED 花样上都出现了  $\eta'$  相的衍射斑点, 分别在  $[011]_{Al}$  晶带轴的  $\{200\}_{Al}$  的 1/3 和 2/3 处、 $[\bar{1}12]_{Al}$  晶带轴的  $\{220\}_{Al}$  的 1/3 和 2/3 处、 $[001]_{Al}$  晶带轴的  $\{020\}_{Al}$  的 1/3 和 2/3 处出现, 时效处理后析出  $\eta'$  相, 是主要的强化相, 可以明显地提高硬度和强度。

4) 时效处理 120 °C 保温 24 h 后, 7075 铝合金激光焊缝析出大量弥散分布的  $\eta'$  相, 呈盘状, 平均直径为 3.279 nm、平均厚度为 0.985 nm; 时效处理 120 °C 保温 32 h 后,  $\eta'$  相的平均直径为 3.998 nm, 比保温 24 h 的析出相的直径增大了 0.719 nm, 平均厚度为 1.62 nm, 比 24 h 时效处理析出相的直径增大了 0.635 nm, 温度的升高使  $\eta'$  相长大, 密度减小, 逐渐向  $\eta$  相转变。

#### 参考文献 References

[1] Liu Yuan, Liang Shuai, Jiang Daming. *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2016, 689: 632  
 [2] Yang Guanglin(杨广林). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Zhenjiang: Jiangu University, 2019

[3] Zhang Jingyu(张景玉), Xu Xiaojing(许晓静), Ruan Hongyan(阮鸿雁) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2017, 46(10): 3033  
 [4] Chu Qiaoling, Bai Ruixiang, Jian Haigen *et al. Materials Characterization*[J], 2018, 137: 269  
 [5] Li Fuquan(李福泉), Feng Shi(冯 时), Li Mingwei(李明伟) *et al. Chinese Journal of Lasers*(中国激光)[J], 2018, 45(11): 77  
 [6] Shi Kangning(石康柠), Cao Yi(曹 益), Liang Zhimin(梁志敏). *Hot Working Technology*(热加工工艺)[J], 2017, 46(21): 185  
 [7] Li Xiaoning(李小宇), Wang Xiaopeng(王小朋), Lei Zhen(雷振) *et al. Transactions of the China Welding Institution*(焊接学报)[J], 2015, 36(6): 95  
 [8] Rometsch Paul A, Zhang Yong, Knight Steven. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2014, 24(7): 2003  
 [9] Wen Kai, Fan Yunqiang, Wang Guojun *et al. Materials & Design*[J], 2016, 101: 16  
 [10] Ren Jianping(任建平), Song Renguo(宋仁国). *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2020, 49(4): 1159  
 [11] Feng Chun, Shou Wenbin, Liu Huiqun *et al. Transactions of Nonferrous Metals Society of China*[J], 2015, 25(11): 3515  
 [12] Zhang Miao, Liu Tao, He Chunnian *et al. Journal of Alloys and Compounds*[J], 2016, 658: 946  
 [13] Maissonette D, Bardel D, Robin V *et al. International Journal of Pressure Vessels and Piping*[J], 2017, 149: 55  
 [14] Dong Chunlin(董春林), Zhang Kun(张 坤), Lan Guohong(栾国红) *et al. Transactions of the China Welding Institution*(焊接学报)[J], 2014, 35(4): 15  
 [15] Wang Xu(王 旭). *Thesis for Master*(硕士论文)[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2017  
 [16] Li Guowei(李国伟), Chen Furong(陈芙蓉), Han Yongquan(韩永全) *et al. Transactions of the China Welding Institution*(焊接学报)[J], 2018, 39(2): 57  
 [17] Chen Chao(陈 超), Chen Furong(陈芙蓉), Zhang Huijing(张慧婧). *Transactions of the China Welding Institution*(焊接学报)[J], 2017, 38(11): 66  
 [18] Hou Xiaohu(侯小虎), Bai Pucun(白朴存), Zhang Xiuyun(张秀云) *et al. Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2010, 39(S1): 332

## Microstructure and Properties of Aluminum Alloy Welded Joints After Aging Treatment

Ding Yaru<sup>1,2</sup>, Chen Furong<sup>1</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

(2. Inner Mongolia Technical College of Electrical and Mechanical, Hohhot 010051, China)

**Abstract:** Effect of aging temperature and aging time on the microstructure and performance of 7075 aluminum alloy laser weld were studied. Scanning electron microscopy (SEM) was used to observe the formed chain T phase during welding. With the extension of heat preservation time, the T phase melts into the substrate gradually. After aging treatment at 120 °C for 24 h, the T phase is uniformly distributed in a spherical shape, which reduces its cleavage effect on the matrix. TEM and SAED pattern show that the nanoscale  $\eta'$  phase is precipitated on the crystal axis of  $[011]_{\text{Al}}$ ,  $[\bar{1}12]_{\text{Al}}$ ,  $[001]_{\text{Al}}$ , which prevents dislocation movement to improve the mechanical properties of welds. With the extension of time, the size and distribution density of  $\eta'$  change and  $\eta'$  phase gradually become  $\eta$  phase. By comparing the microhardness and tensile strength, 7075 aluminum alloy laser welded joint has the best mechanical properties after aging treatment at 120 °C for 24 h.

**Key words:** 7075 aluminum alloy; laser welding joint; aging treatment; nanoscale strengthening phase

---

Corresponding author: Ding Yaru, Candidate for Ph. D., Associate Professor, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, P. R. China, E-mail: 13518648@qq.com