

敏化时间对国产 5083-H116 铝合金组织与性能的影响

褚少旗,周 洋,张繁星,刘海彬,李 利,王鹏云,杨胜利

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所,河南 洛阳 471023)

摘 要:针对国产 8 mm 厚 5083-H116 铝合金,研究了敏化时间对其组织和性能的影响。结果表明,随着敏化时间的延长,5083 铝合金微观组织中越来越多的 β 相(Al_3Mg_2)沿晶界析出,并且形成大量的网状结构;5083 铝合金腐蚀电位降低,晶间腐蚀倾向性持续升高,强度降低,伸长率提高。

关键词:5083-H116 铝合金;敏化; β 相

中图分类号:TG146.2 **文献标识码:**A

Effect of Sensitization Time on the Microstructure and Properties of Domestic 5083-H116 Aluminum Alloy

CHU Shaoqi, ZHOU Yang, ZHANG Fanxing, LIU Haibin, LI Li, WANG Pengyun, YANG Shengli

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

Abstract: The effect of sensitization time on the microstructure and properties of domestic 8 mm-thick 5083-H116 aluminum alloy was studied. The results showed that with the increase of sensitization time, more and more beta phases precipitated on grain boundaries, forming a large number of network structures, the corrosion potential of the aluminum alloy decreased gradually, the intergranular corrosion tendency increased, the strength decreased, and the elongation increased.

Keywords: 5083-H116 aluminum alloy; sensitization; beta phase

5083 铝合金属于 Al-Mg 系合金中的典型合金,不可热处理强化,具有中等强度、良好耐蚀性、可焊接、易加工成形等特点,广泛应用于船舶、交通、运输等领域。但 5083 铝合金在 50~200 ℃使用一段时间后,合金会出现晶间腐蚀与应力腐蚀倾向性,合金组织中 β 相(Al_3Mg_2)的腐蚀电位比基体低,且倾向于在晶界形核、长大,这种热作用导致合金对腐蚀敏感的行为称为“敏化”^[1-2]。国外学者对 AA5083 铝合金敏化行为开展过一些研究^[3-7]。本研究针对对国产 8 mm 厚 5083-H116 铝合金,研究敏化时间对其组织

和性能的影响。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验材料为国内某铝厂 8 mm 厚 5083-H116 铝合金板材,其化学成分如表 1 所示,满足 GB/T 3190—2020《变形铝及铝合金化学成分》对 5083 铝合金的成分要求。

收稿日期:2021-02-23

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(202300410005)

作者简介:褚少旗,男,1993 年生,硕士,主要从事船用铝合金研制及应用评价。

表 1 化学成分

Table 1 Chemical compositions (*w*)

%

Fe	Cu	Mg	Mn	Ti	Cr	Zn	Si	Al
0.164	<0.010	4.40	0.599	0.015	0.075	<0.010	0.018	余量

1.2 试验方法

敏化试验:将 8 mm 厚 5083 铝合金板材放置在鼓风干燥箱中,在 100 ℃ 下进行 3 d、7 d、10 d 敏化处理。

将未敏化处理及敏化处理后材料加工成标样,按照 GB/T 228.1—2010《金属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》测试拉伸性能,按照标准 ASTM G67—2018《Standard Test Method for Determining the Susceptibility to Intergranular Corrosion of 5XXX Series Aluminum Alloys by Mass Loss After Exposure to Nitric Acid》测试晶间腐蚀性能,按照标准 GB/T 24196—2009《金属和合金的腐蚀电化学试验方法恒电位和动电位极化测

量导则》开展电化学测试。金相侵蚀剂为 40% 磷酸水溶液,采用 OLYMPUS GX71 金相显微镜观察组织特征,采用 JEM-2010 型透射电镜(TEM)观察试样微观组织。

2 试验结果及分析

2.1 敏化时间对国产 5083-H116 铝合金组织的影响

图 1 为不同敏化时间下试样的金相组织,图 2 为试样经过 100 ℃ × 10 d 敏化处理后的 TEM 照片。

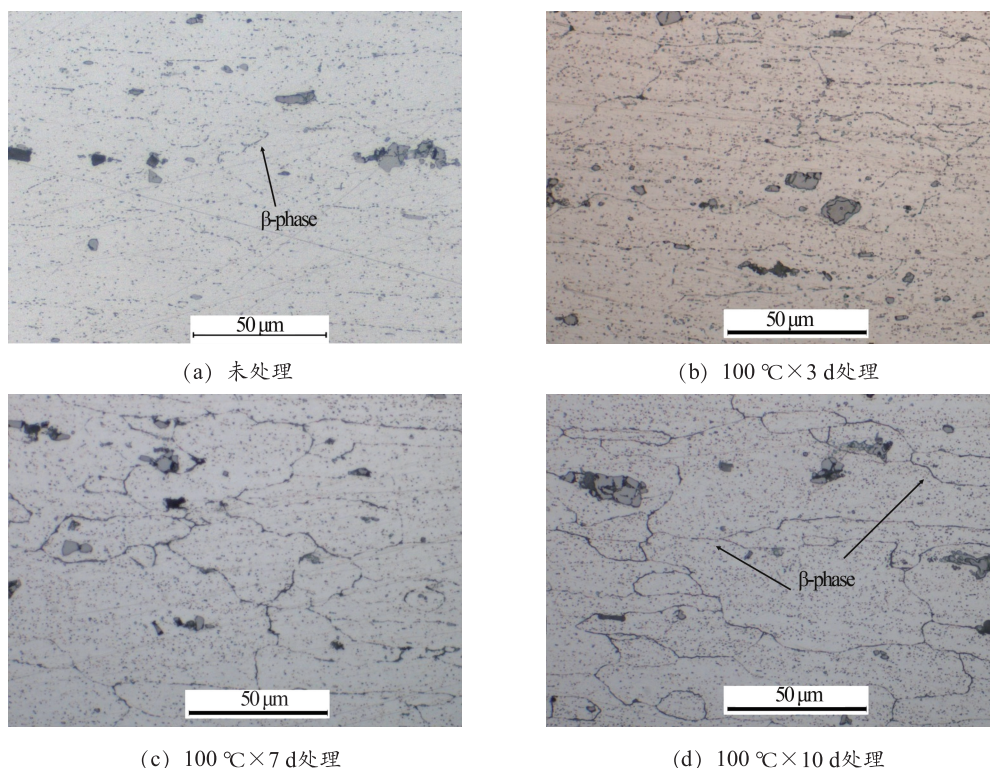


图 1 敏化处理前后金相组织照片

Fig. 1 Photographs of metallographic structures before and after sensitization

由图 1(a) 可知,5083-H116 铝合金板材组织是由 α 基体、大块的 Al_6Mn 相和弥散分布的 β 相组成,其中 β 相未在晶界处有明显聚集;由图 1(b)、(c) 和 (d) 可知,敏化处理后,合金组织仍

由 α 基体、大块的 Al_6Mn 相和 β 相组成,但随着敏化时间的延长, β 相在晶界处聚集析出现象变得更为明显,从沿晶界的线状结构逐渐连接为半网状结构,到最后形成网状结构,在合金整个晶

间都显现出来。在图2上可以清晰地看到在晶界处连续分布的 β 相。

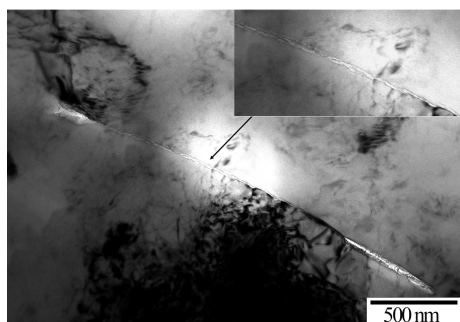


图2 100 °C×10 d敏化处理后的TEM照片

Fig. 2 TEM images of specimen sensitized at 100 °C for 10 d

由铝镁相图可知,镁在铝基体中的固溶度随着温度的降低而急剧下降,当温度在100 °C及以下时,其固溶度仅为2%^[8]。本研究5083铝合金镁含量为4.4%,故Mg元素以过饱和的形式存在于基体中,在自然时效状态下,过饱和存在的Mg元素缓慢地以析出相的形式分布在晶界处,敏化处理则会加快基体中过饱和的Mg从高浓度的晶内沿着位错等扩散通道向低浓度的晶界处扩散,进而在晶界处形成连续析出的 β 相,在微观组织中就表现出网状结构。

2.2 敏化时间对国产5083-H116铝合金性能的影响

2.2.1 电化学行为

图3为不同敏化时间条件下5083铝合金腐蚀电位图。可以看出,随着敏化处理时间的延长,铝合金腐蚀电位持续下降至稳定值后变化不大,在100 °C×7 d的敏化处理条件下时,其腐蚀电位由未处理初始值-917 mV下降到-1 088 mV,下降幅度达到18.6%。在Gao等^[3]的研究中,5083-H116铝合金基体腐蚀电位约为-722 mV, β 相腐蚀电位约为-1 300 mV,说明随着敏化时间的延长,基体中过饱和Mg元素不断在晶界偏聚析出形成网状 β 相,晶界处析出 β 相的增多导致铝合金整体腐蚀电位下降。随着敏化时间的继续增加,晶界处析出的 β 相继续增多,但对宏观腐蚀电位影响减弱,此时的腐蚀电位也将维持在较为稳定的区域。

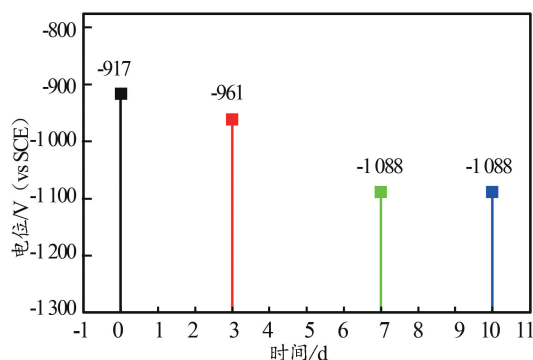


图3 敏化处理前后5083铝合金腐蚀电位

Fig. 3 Corrosion potential of 5083 aluminum alloy before and after sensitization

2.2.2 晶间腐蚀性能

图4为不同敏化时间条件下5083铝合金的晶间腐蚀速率图。可以看出,随着敏化时间的延长,5083铝合金晶间腐蚀速率持续升高,在100 °C×10 d处理条件下,晶间腐蚀达到36.2 mg/cm²,约为未处理试样晶间腐蚀速率的14.5倍,有严重的晶间腐蚀敏感性。由图1敏化处理后的金相组织可知,随着敏化时间的延长,基体中过饱和的Mg元素在晶界处持续析出 β 相,在晶界处形成大量的网状结构,进而造成敏化处理后的铝合金晶间腐蚀速率升高。

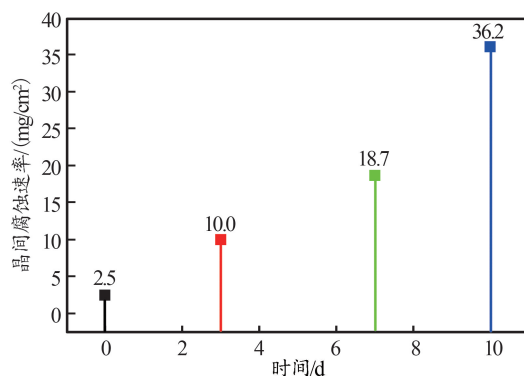


图4 敏化处理前后5083铝合金晶间腐蚀速率

Fig. 4 Intergranular corrosion rates of 5083 aluminum before and after sensitization

2.2.3 力学性能

表2所示为敏化处理前后5083铝合金的力学性能。可以看出,敏化处理后,铝合金屈服强度、抗拉强度明显低于未经敏化处理的铝合金的,伸长率高于未经敏化处理的铝合金的,表现出典型的“时效软化”现象;并且随着敏化时间的延长,5083铝合金的屈服强度及抗拉强度明显下降。

5083 铝合金为典型的固溶强化铝合金, Mg 元素为其主要的强化元素, Mg 元素固溶在 Al 基体中会产生晶格畸变, 部分溶质原子偏聚到位错线上钉扎位错。为了使系统应变能降低, 将会围绕位错形成溶质原子聚合物, 即柯垂耳气团, 这些气团阻碍位错运动, 进而起到强化作用。5083 铝合金在 100 ℃ 敏化处理时, 基体中过饱和的

Mg 元素将沿着位错等扩散通道进行扩散, 在晶界处形成 β 相; 同时随着敏化时间的延长, 基体中过饱和的 Mg 元素将会持续在晶界处形成 β 相, 进而在晶界处形成网状结构, 从而降低固溶体中 Mg 的含量, 减弱了 Mg 元素在固溶体中的强化效果, 导致铝合金经敏化处理强度下降, 伸长率上升。

表 2 敏化处理前后 5083 铝合金力学性能

Table 2 Mechanical properties of 5083 aluminum alloy before and after sensitization

敏化处理(℃×d)	屈服强度 $R_{p0.2}$ / MPa	抗拉强度 R_m / MPa	伸长率 A / %
100×0	224.0, 224.0/224.0	320.0, 321.0/320.5	19.5, 18.5/19.0
100×3	203.0, 206.0/204.5	315.0, 314.0/314.5	22.5, 23.5/23.0
100×7	200.0, 203.0/201.5	314.0, 315.0/314.5	23.5, 21.0/22.3
100×10	196.0, 195.0/195.5	314.0, 308.0/311.0	22.0, 23.0/22.5

3 结论

(1) 随着敏化时间的延长, 5083 铝合金微观组织中越来越多的 β 相沿晶界析出, 并且形成大量的网状结构。

(2) 随着敏化时间的延长, 5083 铝合金腐蚀电位逐渐降低直至稳定, 晶间腐蚀倾向性持续升高, 强度降低, 伸长率升高。

参考文献:

- [1] JONES R H, VETRANO J S, WINDISCH C F Jr. Stress corrosion cracking of Al-Mg and Mg-Al alloys [J]. CORROSION, 2004, 60(12): 1144-1154.
- [2] JONES R H, BAER D R, DANIELSON M J, et al. Role of Mg in the stress corrosion cracking of an Al-Mg alloy [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2001, 32(7): 1699-1711.
- [3] GAO J, QUESNEL D J. Enhancement of the stress corrosion sensitivity of AA5083 by heat treatment[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2011, 42

(2): 356-364.

- [4] GOSWAMI R, SPANOS G, PAO P S, et al. Microstructural evolution and stress corrosion cracking behavior of Al-5083 [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2011, 42(2): 348-355.
- [5] ZHU Y K, CULLEN D A, KAR S, et al. Evaluation of Al_3Mg_2 precipitates and Mn-rich phase in aluminum-magnesium alloy based on scanning transmission electron microscopy imaging [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2012, 43(13): 4933-4939.
- [6] GOSWAMI R, HOLTZ R L. Transmission electron microscopic investigations of grain boundary beta phase precipitation in Al5083 aged at 373 K (100 ℃) [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2013, 44(3): 1279-1289.
- [7] LIM M L C, SCULLY J R, KELLY R G. Intergranular corrosion penetration in an Al-Mg alloy as a function of electrochemical and metallurgical conditions [J]. Corrosion, 2013, 69(1): 35-47.
- [8] 孟春艳. 舰船用含 Zn5xxx 系铝合金的抗腐蚀机理及板材开发[D]. 北京: 北京科技大学, 2016.