DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.09.029

均匀化退火对3102铝合金材料组织与性能的影响

蔺亚强,张　军,马　军
(江苏亨通电力特种导线有限公司,江苏 苏州 215234)

摘　要:设计并采用连铸连轧工艺制备了4种不同组分的3102铝合金材料,利用金相分析法和力学性能的测试对比,研究了3102铝合金材料经过不同温度的退火对铝合金材料显微组织及力学性能的影响。结果表明:随着锰含量的提升,力学性能得到提升;材料的退火温度越低,晶粒尺寸越细小,抗拉强度越高,伸长率越好。

关键词:3102铝合金;显微组织;力学性能;退火

中图分类号:TG156; TG113　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)09-0996-03

Effect of Homogenization Annealing on Microstructure and Properties of 3102 Aluminum Alloy

LIN Yaqiang, ZHANG Jun, MA Jun
(Jiangsu Hengtong Electric Power Special Wire Co., Ltd., Suzhou 215234, China)

Abstract: Four kinds of 3102 aluminum alloy with different components were prepared by continuous casting and rolling process. The effects of annealing at different temperatures on microstructure and mechanical properties of 3102 aluminum alloy were studied by means of metallographic analysis and comparison of mechanical properties. The results show that the mechanical properties of the alloy are improved with the increase of manganese content. With the decrease of annealing temperature, the grain size is smaller, the tensile strength is higher and the elongation is better.

Key words: 3102 aluminum alloy; microstructure; mechanical property; anneal

随着汽车轻量化的不断发展,对汽车用铝材的要求也不断提升,3102铝合金作为一种汽车冷凝器用新型铝材,具有强度高、耐腐蚀性能良好、耐疲劳性能优异的特点而被广泛使用。

3102铝合金属于3XXX铝合金中较常见材料,属于铝锰系合金,Mn是主要的合金组分,同时添加一定比例的铁元素,Si作为杂质元素加以控制。为了使得连铸连轧法生产的3102铝合金杆材具有良好的力学性能,在浇铸过程中应当控制好各项工艺参数。

在连续浇铸快速冷却结晶时,铸坯容易形成树枝状结晶组织,并由于共晶化合物 $(Mn, Fe)Al_6$ 的析出影响,容易造成3102铝合金金相显微组织中的化学不平衡现象。铝材料生产好之后,在随后的冷变形——连续挤压时,产生的温度较高,在再结晶温度以上时,因为回复现象造成第二相的分解,容易造成挤压冷凝管时形成挤压管壁的开裂现象[1]。

收稿日期:2019-05-07

作者简介:蔺亚强(1988-),陕西宝鸡人,工程师.主要从事金属材料研究方面的工作.电话:18362567580,E-mail:466304842@qq.com

采用高温均匀化退火(450~490 ℃)/(5+24) h的热处理工艺,不仅可以消除局部的化学组分的不均匀现象,而且可以使得第二相转变为细小的晶粒组织,同时,使得挤压过程形成的内应力减小[2],有利于后期晶界处的内应力释放,组织趋于稳定化。本文将对比不同的退火工艺对铝材的组织和力学性能的影响,并通过挤压模拟试验进行分析。

1　试验方法

1.1　连铸连轧工艺

通过设计不同组分的合金配方,采用连铸连轧法生产出3102铝合金材料,设计的4种不同的组分,见表1。

表1 3102铝合金组分设计 *w*(%)
Tab.1 3102 aluminum alloy composition design

编号	Si	Fe	Mn	Cu	Ti	Zn
方案1	0.037	0.25	0.25	0.008	0.012	0.01
方案2	0.037	0.35	0.25	0.008	0.012	0.01
方案3	0.037	0.25	0.35	0.008	0.012	0.01
方案4	0.037	0.35	0.35	0.008	0.012	0.01

根据表中组分的变化调整,优化浇铸参数。其浇铸冷却水套冷却水压力分布设定见表2。

将铝液的浇铸温度控制在695±5 ℃范围内,设

表2 浇铸冷却水套冷却水压力设定/kPa
Tab.2 Pressure setting of cooling water for casting cooling water jacket

总压力	350		
各区	1 区	2 区	3 区
内冷	50	100	180
外冷	75	125	225
内侧冷	30	75	
外测冷	30	75	

定浇铸时结晶轮转速为 1 120±20 r/min，控制浇铸冷却水套水温在 30±5 ℃范围内，经过连铸连轧机组轧制成直径为 9.5 mm 的铝杆。

取经连铸连轧的合金杆材 500 kg，共计 8 组试样，每组试样选 10 个样品做以下实验。

退火前样品编号为 A1、A2、A3、A4。

1.2 热处理工艺

选取成分设计中方案 4 的铝杆做均匀化退火试验，均匀化退火的工艺参数设定值见表 3。

表3 均匀化退火工艺
Tab.3 Homogeneous annealing process

项目	方案 B	方案 C	方案 D
退火温度 /℃	450	470	490
升温时间 /h	5	5	5
保温时间 /h	24	24	24

退火后的铝合金杆取出热处理炉进行空冷，分别编号：B4、C4、D4

分别对 A1~A4、B4、C4、D4 的样品测试力学性能，采用万能拉力试验机测试，拉力试验结果见表 4（表中抗拉强度为每组试样的平均值）。

表 4 拉力试验
Tab.4 Tensile test results

样品编号	抗拉强度 /MPa	伸长率(%)	断口状态
A1	138	15.3	脆断
A2	139	14.6	脆断
A3	155	11.8	脆断
A4	154	12.3	脆断
B4	92	21.0	韧性断裂
C4	95	22.3	韧性断裂
D4	94	21.6	韧性断裂

由表 4 可见，不同的组分再未经过热处理时，断口均呈现脆断现象。经过热处理后，均呈现韧断。且成分存在差异时，造成力学性能的差异，由上表可见，Mn 含量对材料的抗拉强度提升贡献量大。

1.3 挤压工艺

选取 A4、B4、C4、D4 的样品做挤压模拟试验，在 Conform 挤压机上进行，挤压成型的工艺参数见表 5。

A4、B4、C4、D4 挤压后样品，分别编号为 JA4、JB4、JC4、JD4。

表 5 挤压参数
Tab.5 Extrusion parameters

轮面间隙 /mm	0.25~0.35
模腔预热温度 /℃	450±20
正常挤压温度 /℃	480±20
工艺废料控制(%)	3~4
挤压速度 /(m/min)	130~150
压力设置 /MPa	3~4

2 试验结果与讨论

2.1 力学性能

分别对比表 4 中力学性能的数据，对比 A1、A2 和 A3、A4 的抗拉强度差异，可见，由于锰元素的提升，强度得到提升。

在浇铸过程将会形成富锰的过饱和固溶体，其结晶铸坯组织为细小的枝晶状组织。同时铸坯由于形成的$(Mn,Fe)Al_6$共晶状化合物，在轧制过程出现晶粒被轧机轧碎，晶粒呈现纤维拉长状，出现加工硬化态[3]，从而表现出抗拉强度的提升，而其断口形貌呈现脆断断口[4]。

此种状态不利于后续挤压成型，必须经过一定的处理手段才能便于成型，一般可通过热处理的手段进行消应力处理。对比 A4、B4、C4、D4 可见，经过退火后，铝杆的抗拉强度明显降低，伸长率得到提升。同时，断口形貌为韧断断口。

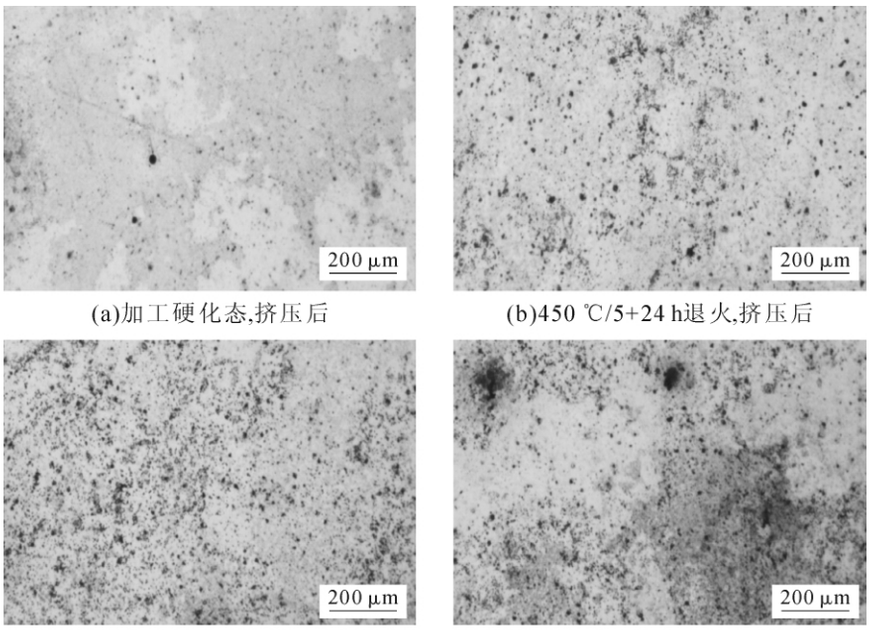
2.2 微观组织

对 JA4、JB4、JC4、JD4 的样品进行微观分析，晶粒尺寸及显微组织见图 1 。

分析图 1 中(b)、(c)、(d)可见，经过不同温度的退火处理，挤压后，金属组织明显不同，温度越低，退火后的组织越细小。这是由于随着退火温度的越高，金属长大的越来越快，属组织越大。

对比图 1 中(a)和(b)、(c)、(d)可见，金属未经过均匀化退火就挤压时，金属第二项组织并没有均匀的弥散在组织中，而在连续挤压过程中，产生的温度较高，造成第二相的分解，将造成这种显微组织的不平衡现象。后续经由 Conform 连续挤压技术形成冷凝薄管。在挤压时发生回复和再结晶，同时，由于在 3102 铝合金材料组分中因为例如硅、铜、钛、铬等杂质元素的影响，使得过饱和固溶体发生部分分解。分解时形成析出相，且由于析出的第二相出现在晶界处，造成了晶界处的不平衡现象，容易造成应力集中点早期的断裂现象[5]。

选取恰当的均匀化热处理工艺，可以适当的降低此种不良现象。当材料经过退火后，断口状态呈韧



(a)加工硬化态,挤压后　(b)450 ℃/5+24 h退火,挤压后

(c)470 ℃/5+24 h退火,挤压后　(d)490℃/5+24 h退火,挤压后

图 1 微观组织分析
Fig.1 Microstructure of samples

性断裂,可见,退火后材料的韧性得到提升[6]。3102铝合金适宜的热处理工艺为 450~470 ℃/5+24 h。

2.3 材料的塑性

经过挤压成型的铝材，通过检查材料的破损率,见表 6。

表6 不同合金冷变形的开裂率
Tab.6 Cracking rates of different alloys during cold deformation

生产工艺处理	总个数	破损开裂数量	破损率(%)
铝材均匀化退火前	500	73	19
铝材均匀化退火后	260	3	1

由表 6 可知,经过均匀化退火后铝材的破损开裂率明显降低,这是由于在退火后材料在挤压过程的流动性得到提升,材料的伸长率得到改善。冷变形加工硬化率大,贮存能高,有利于再结晶形核[7]。经过均匀化退火后挤压变形时表现出材料的塑性得到提升,挤压流动性得到提升。

3 结论

(1)经过均匀化退火后生产的 3102 铝合金材料可以有效的减缓合金组分的不均匀情况,并有效的减少铝合金材料在挤压过程形成的管壁破损情况。

(2)材料的回复退火温度越低,获得的晶粒尺寸越小。从而不仅材料的抗拉强度高,而且塑性好,材料的综合力学性能得到提升。

(3)3102 铝合金材料,金属组分的锰含量越高,材料的抗拉强度越高;再结晶温度越高,第二相组织的长大促使金属的性能降低。

(4)3102 铝合金经过连铸连轧法生产后，加工硬化率大,贮存能高,有利于再结晶形核。经过均匀化退火后,材料的塑性得到提升,挤压流动性得到提升。3102 铝合金适宜的热处理工艺为 450~470℃/5+24 h。

参考文献:

[1] 宁爱林，曾苏发. 固溶处理对高纯高强铝合金组织和性能的影响[J]. 金属热处理,2004, 29(4):13-17.

[2] 王祝堂.变形铝合金热处理工艺[M].长沙:中南大学出版社,2011.

[3] 闫亮明,沈健,李周兵,等. 热变形温度对 7055 铝合金热处理组织和力学性能的影响（英文)[J]. 中国有色金属学报：英文版,2013(3):625-630.

[4] 李嘉欣. 论金属材料组织结构对性能的影响[J]. 科技展望,2015,22:55-57.

[5] Vostry P, Smola B, Stulikova I, et al. Microstructure evolution in isochronally heat treated Mg-Gd alloys [J]. Physica Status Solidi, 1999,175(2):491-500.

[6] Xia X, Zhang K, Li X, et al. Microstructure and texture of coarse-grained Mg-Gd-Y-Nd-Zr alloy after hot compression [M]. Materials & Design,2013, 44:521-527.

[7] 王海珍,张奎,李学刚,等. Mg-6Y-7RE-0.4Zr 镁合金显微组织和力学性能研究[J].特种铸造及有色合金,2010, 30(5):472-475.