

高温状态下的 B93 铝合金机械性能热处理分析

王金海

(银川能源学院机械与汽车工程学院 宁夏 银川 750100)

摘要: 在现代化工艺生产加工中, B93 铝合金除具有较为先进的工艺性特点外, 还具备良好的焊接功能。在高温状态下, B93 铝合金机械性能热处理可以改变其金属与合金的性能, 也能提高 B93 铝合金的耐磨、耐腐蚀性, 使得 B93 铝合金在工业生产和机械加工中有着极为广泛的应用。基于此, 本文就高温状态下, 对 B93 铝合金机械性能的热处理进行研究分析, 从而针对存在的问题提出相应的解决措施, 有利于最大限度地提高 B93 铝合金的工业使用价值。

关键词: B93 铝合金; 机械性能; 热处理

0 引言

大量研究表明, 高温机械热处理可以改善铝合金的综合性能, 但是目前通过这种热处理而获得的性能与变形的温度条件、变形方法及原始毛料组织之间的相互关系, 研究的不够多, 本文通过研究 B93 铝合金在高温状态下的机械热处理后的性能影响, 可以为相关工业生产提供必要的参考借鉴。

1 B93 铝合金热处理特点

1.1 固溶处理

B93 铝合金可以通过固溶处理来提高其强度和硬度, 固溶处理是将材料加热至高温区域, 使合金中的溶质均匀地溶解在固溶体中, 然后通过快速冷却来保持溶质的固溶状态^[1]。B93 铝合金在固溶处理过程中发生固溶相变, 其相变速度相对较快, 这是因为铝合金的固溶度较高, 固溶过程中固相中的固溶元素会在浸入液态铝中迅速溶解。一些固溶元素具有较高的固溶度, 容易在固溶过程中完全溶解, 而另一些固溶元素的固溶度较低, 固溶过程中可能只能部分溶解。

1.2 时效处理

B93 铝合金的时效处理需要经过适当的温度和时间来完成。一般来说, 时效温度会在固溶温度以下进行, 通过调节时效温度和时效时间, 可以控制合金强度和硬度的提高程度。B93 铝合金进行时效处理后, 固溶体中的固溶元素形成了细小且均匀分布的弥散相, 这些弥散相对于原始固溶体具有较高的强度和硬度, 可以有效提高合金的机械性能, 这种由

弥散相引起的硬化效应称为时效硬化。在时效处理过程中, B93 铝合金中的固溶元素会发生析出, 这些析出物通常以细小的颗粒或晶胞形式出现, 并在合金晶粒间隙或晶内析出, 这些析出物的种类、数量和尺寸等因素都会直接影响合金的机械性能和耐腐蚀性^[2]。

2 B93 铝合金热处理方法

2.1 退火处理

B93 铝合金热处理中的退火处理方法通常包括以下两种退火处理方式。第一种是全退火处理, 全退火是将 B93 铝合金材料加热至较高温度(通常为固溶温度)后保持一段时间, 然后缓慢冷却至室温。全退火的目的是消除材料中的残余应力, 并使晶粒重新长大和重新排列, 通过全退火处理, B93 铝合金可以获得更好的可塑性和韧性, 适用于需要进行冷加工或变形加工的应用。第二种是时效退火, 时效退火是在 B93 铝合金经过固溶处理和时效处理后, 再次对材料进行退火处理, 时效退火的目的是进一步调整材料的组织结构和性能, 优化其力学性能和耐腐蚀性能, 时效退火的温度、时间和冷却速率等参数会根据具体合金成分和应用需求进行调整和优化。

2.2 淬火

B93 铝合金由于其成分中含有较高的镍和铁元素, 通常不适用于传统的淬火方法, 这是因为传统的淬火方法对于铝合金来说很难实现有效的相变和组织转变。但是, 可以采用水淬或高气流速度进行快速冷却来实现类似于淬火的效果, 这种方法被称为快速冷却^[3]。快速冷却能够在一定程度上改变材料

的组织结构, 增强硬度和强度, 提高材料的耐磨性和抗拉伸性能。具体操作时, 将 B93 铝合金加热至固溶温度并保温一段时间, 然后迅速将材料浸入冷却介质中, 如水中或通过高速气流进行冷却, 此过程需要在合适的温度范围和时间控制下进行, 以避免出现材料失效、变形、裂纹等问题。需要注意的是, 在进行快速冷却前, 也需要进行预处理, 如固溶处理和时效处理, 以使材料达到适当的力学性能和耐腐蚀性能。针对 B93 铝合金, 传统的淬火方法不适用, 但可以采用快速冷却的方式达到类似淬火的效果, 以此改善和调整材料的组织结构和性能。

2.3 时效处理

B93 铝合金的时效处理是通过对加热、保温和冷却进行控制, 使其达到理想的力学性能和耐腐蚀性能。在对 B93 铝合金的时效处理时, 首先, 在固溶处理中, 将 B93 铝合金加热到固溶温度范围内, 温度范围一般为 $500 \sim 550^{\circ}\text{C}$, 然后进行保温一段时间, 通常为几个小时。这个过程中会使合金内的固溶体达到均匀的溶解状态。其次, 在快速冷却固溶处理后, 将 B93 铝合金迅速冷却至室温, 快速冷却可以避免固溶体析出, 保持均匀的组织结构。然后, 在时效处理中, 当 B93 铝合金快速冷却后进行时效处理, 时效处理的目的是通过在一定温度下保持一段时间, 使固溶体中形成更稳定的弥散相, 进而提高合金的强度和硬度。时效处理分为人工时效和自然时效, 人工时效 (T4 处理) 是指将固溶处理后的合金加热到较低的温度 (通常为 $120 \sim 180^{\circ}\text{C}$), 保温一段时间, 一般为几个小时, 然后冷却到室温, 这个过程中产生的沉淀相能够提供合金一定的强度和硬度。自然时效 (T6 处理) 是指将固溶处理后的合

金自然冷却到室温, 然后放置一段时间, 通常为几天至几周, 在这个过程中, 合金内部会产生更多和更稳定的沉淀相, 从而获得更高的强度和硬度^[4]。

3 高温机械热处理对 B93 铝合金热在 ρ 开式模锻变中机械性能研究

3.1 B93 铝合金热在 ρ 开式模锻变中的机械性能分析

在选用超高强度的 B93 铝合金作为热模锻合金研究对象时, 通过研究合金原始组织的影响, 并采用没有多边化亚结构组织的退火处理时, 在 400°C 时经过 15% 的压缩变形产生, 并经过 465°C 和 445°C 的 B93 铝合金淬火, 其变形程度为 10% ~ 15% 的轧制和模锻实现高温机械热处理而造成最终的变形, 相应的 B93 铝合金在进行预先变形和没有预先变形时进行轧制方式的高温机械热处理后, 所获得的试样机械性能数据如表 1 所示。

与此同时, 将高温机械热处理的温度降低到 445°C 时, 会降低 B93 铝合金的强化效应, 尤其是屈服强度降低比较明显, 并特别注意 $\sigma_{0.2}/\sigma_B$ 比值的降低, 可以使 B93 铝合金的松弛能力提升。而在改善应力集中的制品加工性能时, 将高温机械热处理的温度从 465°C 降低到 445°C , 则可以提高 B93 铝合金的结构强度。因此, 将高温机械热处理效应作为提高塑性 (δ 、 ψ) 和韧性 (KCU 、 KCT) 的指标方法时, 能够提高高温机械热处理对 B93 铝合金在 ρ 开模式锻变形时机械性能的影响, 从而获得表 2 数据。

在进行高温机械热处理和批量生产时, 采用均匀化铸锭造的毛坯, 能够实现在批量生产时的处理相

表 1 B93 铝合金轧制变形

处理制度	在 400°C 预先经过 15% 的变形						未经过预先变形					
	$\sigma_{0.2}/(\times 9.8 \times 10^6 \text{N/m}^2)$	$\sigma_B/(\times 9.8 \times 10^6 \text{N/m}^2)$	$\eta/\%$	$\psi/\%$	$KCU/(\times 9.8 \times 10^4 \text{J/m}^2)$	$KCT/(\times 9.8 \times 10^4 \text{J/m}^2)$	$\sigma_{0.2}/(\times 9.8 \times 10^6 \text{N/m}^2)$	$\sigma_B/(\times 9.8 \times 10^6 \text{N/m}^2)$	$\eta/\%$	$\psi/\%$	$KCU/(\times 9.8 \times 10^4 \text{J/m}^2)$	
淬火 + 时效 120°C 、3h+ 165°C 、4h	48.8	51.5	6.1	10.1	0.71	0.28	44.7	50.1	13.3	23.4	0.94	
445°C 高温机械热处理 + 时效 120°C 、3h+ 165°C 、4h	45.1	51.5	12.8	35.1	1.59	0.75	46.2	51.2	14.8	33.1	—	
465°C 高温机械热处理 + 时效 120°C 、3h+ 165°C 、4h	48.4	53.2	13.3	33.9	0.95	0.57	48.4	52.9	14.4	32.1	0.97	

表2 B93 铝合金模锻件的机械性能

处理制度	$\sigma_{0.2}/(\times 9.8 \times 10^6 \text{N/m}^2)$	$\sigma_B/(\times 9.8 \times 10^6 \text{N/m}^2)$	$\delta/\%$	$KCU/(\times 9.8 \times 10^4 \text{J/m}^2)$	$KCT/(\times 9.8 \times 10^4 \text{J/m}^2)$	$K_I/(\times 3.1 \times 10^5 \text{N/m}^{3/2})$
淬火+时效 120℃、3h+165℃、4h	48.8	51.5	6.1	0.7	0.28	80.6
465℃高温机械热处理+时效 120℃、3h+165℃、4h	49.7	52.3	9.5	1.1	—	—
445℃高温机械热处理+时效 120℃、3h+165℃、4h	48.5	52.3	9.8	1.8	—	134
淬火+时效 120℃、3h+180℃、6h	42.5	47.5	9.3	1.24	0.36	110.4
465℃高温机械热处理+时效 120℃、3h+180℃、6h	42.1	47	11.8	1.5	1.19	—
445℃高温机械热处理+时效 120℃、3h+180℃、6h	40.5	47.2	12.1	2.6	1.11	153.1

比较,而对于经过高温机械热处理的模锻件时,按照 120℃、3h+160℃、4h 的制度时效分析,对应的特点是强度有待提高。但是按照 120℃、3h+180℃、6h 的制度时效分析,这种提高趋势则不复存在,这也使得在高温机械处理下,时效过程中有着某种程度的加快,因此能够得出变形方式对高温机械热处理的效果不会产生太大的影响。

3.2 B93 铝合金处理分析

在对“淬火+时效 120℃、3h+165℃、4h”制度的时效模锻件锻口研究中,两种方式的处理合金通常具有塑性端口,如图 1(a)所示。但经过高温机械热处理的断口处理组织,由结晶结构区面积增加,才能表现得较为均匀,经对应的模锻件显微组织分析,高温机械热处理的整个制品可以获得均匀的细组织,如图 1(b)所示。将高温机械热处理的模锻温度降低到 445℃时,会导致 $\sigma_{0.2}/\sigma_B$ 的比值降低,而对应的 KCU 会提高,为此,在比较高温机械热处理时,对 B93 铝合金性能的影响中,采用相同的方法配置毛坯及不同的变形方式,能够发现其性能规律的变化具有相同性的特点。所以可以得出如下结论,B93 铝合金性能在毛料中形成多变化亚结构组织的预先处理,对该合金高温机械热处理的强度和塑性指标影响不大。同时,B93 铝合金的高温机械热处理也可以在较为宽松的温度范围内进行。

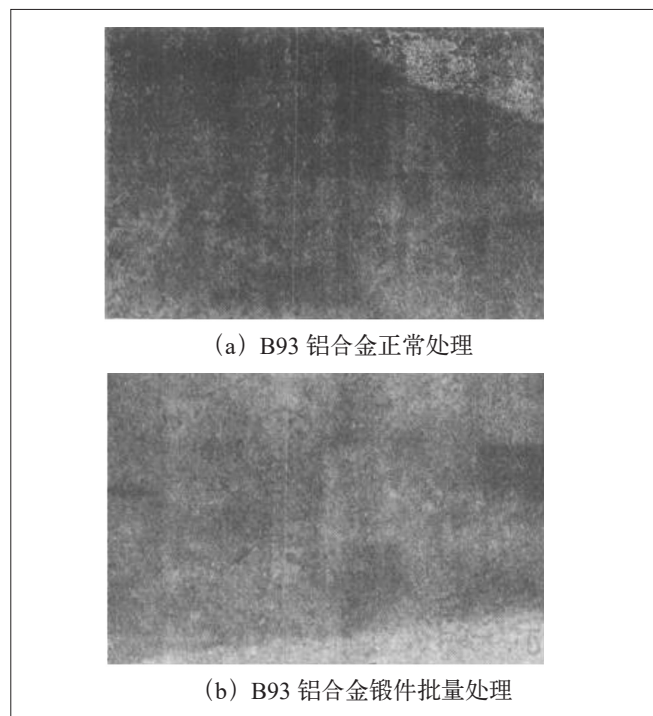


图1 B93 铝合金“淬火+时效 120℃、3h+165℃、4h”处理分析

4 焊接过程中容易产生的缺陷原因和预防措施

4.1 气孔

B93 铝合金在焊接过程中产生气孔缺陷可能由以下原因导致。当铝合金表面存在氧化物,如果未进行适当的预处理,氧化物会在焊接过程中熔化并形

成气体,导致气孔的形成^[5]。在焊接过程中,如果焊材、焊件或环境中存在湿气、油脂或其他挥发性物质,这些物质在加热过程中会挥发出气体并产生气孔缺陷。同时,焊接材料与基材接触不良,未能充分溶解或扩散,会造成气体被包裹在焊缝中形成气孔。

为了预防 B93 铝合金焊接过程中产生气孔缺陷,可以采取以下措施。首先,在焊接前,应仔细清洁铝合金表面,去除氧化物和杂质,可使用溶剂清洗、酸洗或机械方法,以确保表面干净。其次,保持焊接环境干燥,避免湿气的进入,尽量选择无挥发性物质的焊接材料和辅助剂。再次,选择合适的焊接电流、电压和焊接速度,以确保焊接过程中的温控和热输入控制良好。而在焊接过程中使用惰性气体(如氩气)作为保护气体,可以减少氧化和污染,帮助提供一个清洁的焊接环境。最后,使用适当的焊接工艺,如预热、热输入控制、合适的焊接顺序等,可以减少热应力和残余应力,有助于避免气孔缺陷的形成。通过以上措施,可以有效预防 B93 铝合金焊接过程中气孔缺陷的产生,提高焊接质量和可靠性,当然,在具体的焊接应用中,还需要根据实际情况进行适当的优化和调整。

4.2 裂纹

B93 铝合金在焊接过程中产生裂纹缺陷可能由以下原因导致。在焊接时,由于快速加热和冷却,产生的热应力可能超过了材料的承受能力,导致裂纹的形成,B93 铝合金具有较高的冷裂纹敏感性,特别是在低温环境中焊接时容易形成裂纹。这可能是由于材料本身的化学成分及焊接工艺参数不当造成的。焊接过程中产生的气孔或材料内部存在的气孔可能会作为裂纹的起点,进一步扩展形成裂纹。

为了预防 B93 铝合金焊接过程中产生裂纹缺陷,可以采取以下措施。通过在焊接前对焊缝区域进行适当的预热,可以减轻热应力和热变形,减少裂纹的形成,在焊接后进行适当的后热处理,有助于消除残余应力,提高焊接接头的强度和韧性。同时,选择合适的焊接电流、电压和焊接速度,以控制焊接过程中的热输入和温度梯度,减少热应力的产生。

选择合适的填充材料,具有较低的冷裂纹敏感性,可以通过调整填充材料的化学成分、添加合适的合金元素等方式,减少裂纹的形成。此外,合理安排焊接顺序,采用适当的焊接顺序和顺序间隔时间,以减少热应力集中及焊缝的叠加效应,在设计阶段考虑焊接接头的结构和几何形状,可以降低焊接时的应力集中,也能有效减少裂纹的发生。除此之外,控制焊接过程中的预热温度、焊接速度、气体保护等参数,有利于确保焊接接头受热均匀,并避免快速冷却引起的热应力。

5 结语

在使用 B93 铝合金进行生产加工时,根据高温状态下 B93 铝合金机械性能的热处理分析,可以适当地改善 B93 铝合金在高温环境下的机械性能,使其具有更好的抗拉强度、屈服强度、延伸率和硬度,具体的热处理方法和参数应根据具体的合金成分和应用需求进行优化和确定,才能更好地满足生产使用需求。

参考文献:

- [1] 李继光,王一,张下陆,等.加热温度对不同热处理状态 2A14 铝合金力学性能的影响分析[J].热加工工艺,2021,50(24):134-137.
- [2] 陈文涛,尹靖,王春艳,等.激光增材制造 6061 铝合金热处理及强韧机理[J].金属热处理,2023,48(08):172-179.
- [3] 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,2015,44(04):31-34.
- [4] 侯远飞,刘崇宇,戴海桃,等.钎添加及热处理对搅拌摩擦加工态 7 系铝合金组织及力学性能的影响[J].材料热处理学报,2020,41(06):32-38.
- [5] 姜根,柏振海,罗兵辉,等.热处理状态对 6061 铝合金应力腐蚀性能的影响[J].铝加工,2020(01):8-12.

作者简介:王金海(1985.08-),男,回族,宁夏吴忠人,本科,讲师,研究方向:机械热处理。