

大挤压比下 WE43 镁合金管材成形工艺及组织性能

于宝义，王少华，郑黎，王英儒，孙建红
(沈阳工业大学材料科学与工程学院，辽宁沈阳 110870)

摘要：选用不同的工艺参数对典型的稀土镁合金 WE43 进行管材热挤压工艺试验研究，得出了一套可行的管材挤压成形工艺：挤压锭加热温度为 450℃，模具预热温度为 430℃，挤压速度为 2mm/s，极限挤压比在 70~98 之间，润滑剂采用高温石墨油。对不同挤压比下材料的组织性能进行了测试及分析，结果表明：随着挤压比的增加，管材组织更加均匀，晶粒尺寸得到细化；增大挤压比还可以提高 WE43 镁合金管材的抗拉强度和屈服强度。

关键词：WE43 合金；挤压温度；挤压速度；极限挤压比；组织性能

1 引言

通过铸造方式生产的镁合金产品缺陷多、力学性能较低，可靠性差，只能在 3C 类电子产品和一些非承力结构件中使用^[1]。而塑性成形的镁合金产品，具有更高的强度、更好的延展性、更多样化的力学性能和较少的内部缺陷，塑性变形镁合金产品具有铸造产品无法替代的优良性能，可以满足更多结构件的需求^[2-4]。其中，管材挤压加工有许多突出的优点：降低原材料的消耗；与切削加工相比生产率可大幅度提高；挤压变形后，金属材料的组织更加致密；由于挤压时纤维组织不破坏，使挤压件的强度明显提高。挤压可节省材料和降低加工工时，因此必然降低生产成本。挤压还可以保证管材的尺寸精度和表面精度^[5]。挤压比作为挤压工艺的一个重要参数，其选择范围一般在 1~100。而对于塑性较差的镁合金，微细管成形时挤压比的选择一般在 1~30，生产效率较低。研究表明，随着挤压比的增加，材料变形会更加均匀，成形管材的晶粒尺寸会减小，并且可以提高管材的生产效率。因此，本文选用典型稀土镁合金 WE43，选取较大的挤压比进行热挤压试验，主要研究大挤压比下 WE43 镁合金管材挤压成形工艺及不同挤压比对管材组织性能的影响。

2 试验设备及材料

试验设备采用 YH61-500T 型液压机，箱式电阻加热炉，专用挤压模具一套，试验材料为 WE43 镁合金，其化学成分如表 1 所示。为了减少和消除铸造偏析，改善组织的不均匀性，将铸锭加热到 440℃，保温 18h 进行均匀化处理。挤压件及坯料尺寸见表 2。采用 OLYMPUS GX51 型金相显微镜显微组织，力学性能测试是在 WDW 型万能拉伸机上进行。

表 1 WE43 镁合金的化学成分

Y	RE (Nd)	Zr	Mg
3.5~4.5	3.0~3.3	0.5	其余

表 2 挤压锭及挤压件尺寸

	外径	内径	壁厚	挤压比
挤压锭	60	10.5	24.8	38.5
挤压管材	14	10	2	
挤压锭	60	7.5	26.3	69.6
挤压管材	10	7	1.5	
挤压锭	60	8.5	25.8	98.2
挤压管材	10	8	1	

参考有关文献,结合管材挤压时的具体变形特点及工艺特征,制定出了管材挤压时的试验工艺参数,即挤压加工时坯料温度、模具预热温度、润滑剂、挤压速度、挤压比等工艺参数。由于镁合金塑性差、变形温度范围窄,本试验挤压变形量大等原因,整个挤压过程中应使坯料和模具始终保持在一个较为恒定的温度范围内^[6-7],这样可以显著降低金属的变形抗力,改善金属的流动性,提高金属的充填能力。润滑剂均选择用高温石墨油。具体参数见表 2。

表 2 管材挤压试验工艺参数

试验序号	挤压比	挤压温度/℃	模具温度/℃	挤压速度/(mm/s)
1	38.5	400	380	2
2	38.5	450	430	2
3	38.5	500	480	2
4	38.5	450	430	10
5	69.6	450	430	2
6	69.6	450	430	10
7	98.2	450	430	2
8	98.2	500	480	2

3 挤压结果及分析

3.1 挤压温度对挤压试验的影响

在较小的挤压比 $\lambda=38.5$ 和较小的挤压速度 $v=2\text{mm/s}$ 下,试验 1、2、3 研究了挤压温度对挤压试验的影响。结果表明:当挤压温度为 450°C ,模具温度为 430°C 时,成形出表面光滑、壁厚较均匀的 $\phi 14\times 2\text{mm}$ 的 WE43 镁合金管材,见图 1a。当挤压温度为 400°C ,模具温度为 380°C 时,管材无法成形。这是由于在此温度下,材料的屈服强度依然很大,所需的挤压力较大。当挤压温度为 500°C ,模具温度为 480°C 时,管材表面质量下降,在挤压方向上出现明显的划痕,见图 1b。这是由于当挤压温度升高时,材料的屈服强度会降低,同时黏膜倾向增加,造成管材的表面质量下降。

(a) 450°C (b) 500°C

图 1 不同挤压温度下的镁合金管材

3.2 挤压速度对挤压试验的影响

通过试验 2、4、5 和 6 制备的 WE43 镁合金管材见图 2。结果表明:在较小的挤压比 ($\lambda=38.5$) 下,挤压速度从 2mm/s 提高到 10mm/s 时,都可以获得表面光滑,壁厚较均匀的 $\phi 14\times 2\text{mm}$ 管材。由此可以判断当挤压比较小时,挤压生产时可以适当的提高挤压速度以提高管材的生产率。当挤压比 λ 达到 69.6,挤压速度为 2mm/s 时,可以获得表面光滑,壁厚较均匀的 $\phi 10\times 1.5$ 的管材(图 2a);而挤压速度增加到 10mm/s 时,管材表面出现明显的、有规律的横向裂纹(见图 2b),出现该裂纹的主

要原因是挤压比增大时,材料的变形程度增大,产生的内部应力会增加,而在较大的挤压速度下,材料的内部又会产生较大的内部应力;在大变形和大挤压速度的双重作用下,材料内部产生更大的内部应力,当该应力超过材料抗拉强度时,材料首先会在高应力区出现微裂纹,在较大的变形速度下,裂纹迅速扩展,形成了明显的、有规律的宏观裂纹。同时,较低的挤压速度可以减小金属因变形而引起的温升,使坯料各部分温度尽量均匀,对于获得形状与尺寸精确、组织性能沿断面和长度方向均匀一致的管材,提高成品率与挤压生产效率均具有重要的意义。



图2 不同挤压速度下的镁合金管材

3.3 挤压比对挤压试验的影响

如果 λ 值选用过大,挤压机机会因挤压力过大而发生“闷车”,使挤压过程不能正常进行,甚至损坏工具,影响生产率。如果 λ 值选用过小,挤压设备的能力不能得到充分利用,也不利于获得组织和性能均匀的制品。本试验选取的挤压比分别为 38.5、69.6 和 98.2。其中当挤压比为 38.5 和 69.6 时,可以获得表面光滑,壁厚较均匀的镁合金管材。当挤压比增大到 98.2(试验 7)时,挤压机出现“闷车”现象,提高温度(试验 8)时,管材依然无法成形。由此可以推断 WE43 镁合金管材的极限挤压比在 70 到 98 之间,该结论可以为挤压工艺的制定提供参考依据。

4 组织性能分析

4.1 挤压比对变形组织的影响

图 3 为不同挤压比管材纵截面的显微组织。可以看出,在 450°C 、 2mm/s 的条件下挤压时,合金的变形组织基本上由动态再结晶晶粒组成,但是由于挤压速度较小和大变形量挤压造成的温升效应,部分再结晶晶粒已经长大。当挤压比为 38.5 时,变形组织中没有明显的挤压流线,晶粒平均尺寸约为 $6.5\mu\text{m}$,如图 3a。当挤压比增大到 69.6 时,晶粒尺寸较为均匀,平均尺寸约为 $3.5\mu\text{m}$,变形组织中开始出现较多的挤压流线,如图 3b 所示。随着挤压比的增加,合金的位错密度升高,动态再结晶的驱动力增强,在相同的挤压温度和挤压速度下,再结晶的形核率和长大速率都增大,但形核率增加更快,因此晶粒逐渐细化。

4.2 挤压比对力学性能的影响

当挤压比为 38.5 时,管材的强度较低,其抗拉强度和屈服强度分别为 210.4MPa 和 171.2MPa ,伸长率为 15.0%。当挤压比增大到 69.6 时,它们分别达到 247.6MPa 和 210.1MPa ,伸长率为 11.2%。挤压比对管材强度的提高可以从以下两方面解释。首先,挤压比增大,管材的再结晶晶粒细化,晶界增多,起到晶界强化的效果,其大小可以用 Hall-Petch 关系来表达;其次,挤压比增大,挤压过程中合金坯料的变形程度增大,原始组织中未溶解的稀土相被破碎得更加细小,分布更为弥散,对位错运动的阻力增加,颗粒强化的效果增强。虽然晶粒细化使塑性变形分散在较多的晶粒内进行,能够降低局部晶粒的应力集中,但弥散颗粒增多和加工硬化都使变形组织中位错密度大幅增加,在这些位错塞积区域容易产生应力集中,降低管材的塑性。

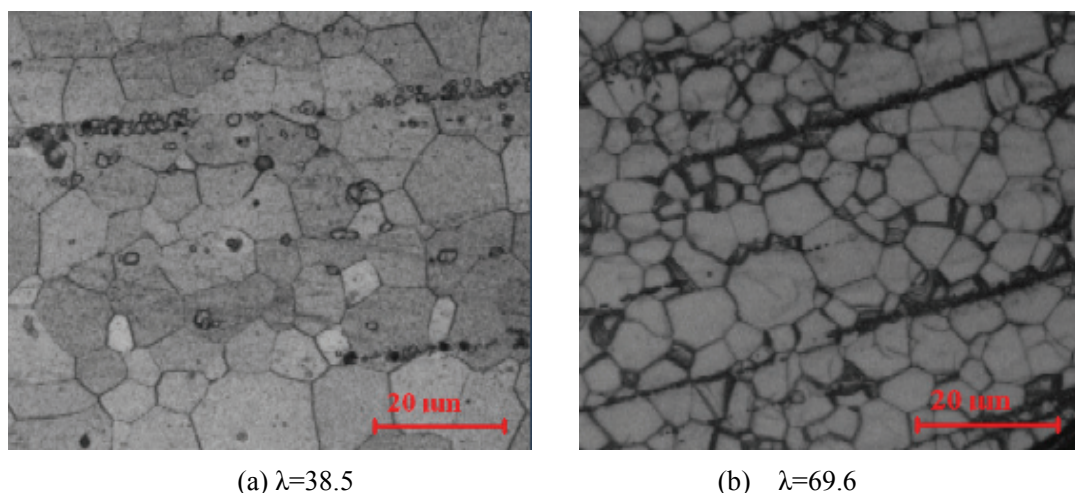


图3 不同挤压比管材纵截面的显微组织

5 结论

(1) WE43 镁合金管材热挤压时, 应合理选择挤压工艺参数。结果表明: 挤压锭加热温度为 450℃, 模具预热温度为 430℃, 挤压速度为 2mm/s 时, 润滑剂选用高温石墨油, 挤压得到的 WE43 镁合金管材表面质量较好, 无裂纹、划伤、起皮等缺陷。

(2) 通过试验得出 WE43 镁合金管材的极限挤压比在 70~98 之间, 该结论可以为 WE43 镁合金管材挤压工艺的制定提供参考依据。

(3) 增大挤压比可以是管材组织均匀, 晶粒细化, 同时提高管材的抗拉强度和屈服强度, 但降低管材的塑性。

参考文献:

- [1] 黄晓艳, 周宏. 镁合金的研究应用及最新进展[J]. 材料与冶金学报, 2003, (4): 300-306.
- [2] 张宝红, 张星, 王强, 张治民, 李保成. 塑性变形对铸态 AZ31 镁合金组织和性能的影响[J]. 材料工程, 2005, (5): 45-48.
- [3] R. Krishnamurthy, Yi Liu, Xin Wu. The Forming of Magnesium Alloys: Processing and Simulation[J]. Magnesium Technology 2004, Ed. By Alan. A. Luo. TMS, 2004:51-60.
- [4] Mordike B L, Ebert T. Magnesium properties applications potential[J]. Mater.Sci.Eng. 2001, A302(1):37-45.
- [5] 张士宏, 王忠堂, 许沂. 管材挤压工艺分析及实验研究[J]. 金属成形工艺, 2002, (1): 6-8.
- [6] 全俊, 唐靖林, 曾大本. 挤压工艺对 AZ31 镁合金组织和性能的影响[J]. 铸造技术, 2010, 31 (9): 1187-1190.
- [7] 陈振华. 变形镁合金[M]. 北京: 化工工业出版社. 2005.