

[文章编号] 1004- 0609(2001)S1- 0005- 04

单辊剪切/冷却工艺对 LY11 半固态合金组织的影响^①

管仁国, 陈彦博, 温景林

(东北大学 材料与冶金学院, 沈阳 110006)

[摘 要] 利用自行设计的单辊剪切/冷却(SCR)试验机对 LY11 合金进行了半固态凝固实验, 研究了工艺条件对 LY11 半固态合金组织的影响。结果表明, 辊-靴间隙宽度的适当范围为 2~ 3 mm; 浇注温度影响半固态合金坯料内部晶粒的大小与形状, 浇注温度在 730~ 750 ℃范围内, 可获得细小、均匀球状或椭球状晶粒组织; 冷却方式会影响半固态合金坯料晶粒的大小与分布, 水冷制得的合金晶粒尺寸比空冷的小 2~ 3 个级别, 而空冷制得半固态合金坯料的晶粒分布较为均匀。

[关键词] 剪切; 半固态合金; 浇注温度; 冷却

[中图分类号] TB331

[文献标识码] A

半固态加工技术已有 20 多年的历史^[1~ 3]。国外半固态加工在工业生产中所占比例越来越大, 尤其是在汽车工业中半固态加工技术已成为不可替代的加工模式^[4~ 8]。由于我国半固态加工起步较晚, 与国际先进水平相比还存在一定差距, 特别是由于半固态加工技术具有节约能源与资源、产品性能好等突出优点^[9~ 11], 在我国资源、能源相对短缺的情况下, 开发新型半固态合金的制备与加工技术变得非常紧迫。

单辊剪切/冷却工艺(SCR 工艺)具有结构紧凑、操作方便、半固态合金的制备与成形可以连续化、制备材料的性能好等特点, 是一种应用前景广阔的新型半固态合金制备与加工技术^[12]。作为一种新型的工艺技术, 还有许多理论与技术问题尚待解决, 主要包括制备原理、设备、近终形加工途径、工艺条件对组织与性能的影响等。本文作者在自行设计的 SCR 实验机上, 研究了工艺条件对 LY11 半固态材料组织的影响规律。

1 实验

1.1 实验设备

SCR 实验机如图 1 所示, 主要包括剪切/冷却轧辊、靴座、收料模与卸料板。轧辊与靴座间留有一定空间, 将熔融的合金液通过浇口处的导流器浇注到辊-靴间隙中。轧辊表面具有一定的粗糙度, 由于轧辊与靴座的冷却作用, 合金液发生凝固, 转动

的轧辊对部分凝固的合金产生剪切搅拌作用, 使合金液转化为半固态浆料, 并通过轧辊施加的摩擦力将半固态合金拖出辊-靴间隙, 通过安装在出料口的卸料板与收料模将制得的半固态合金收集起来, 铸成所需尺寸的铸锭。

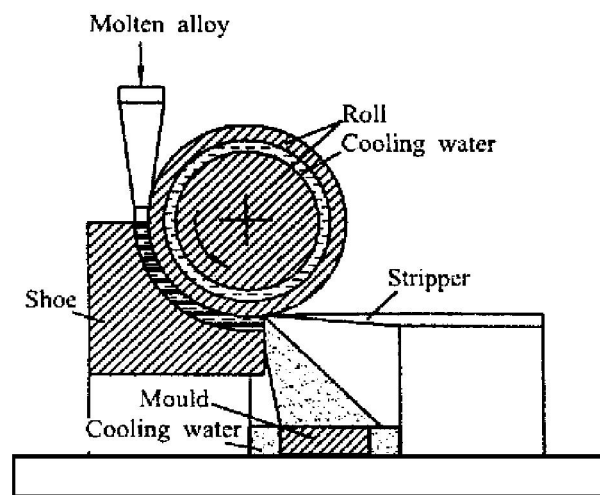


图 1 SCR 实验装置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of SCR machine

1.2 实验材料

所用实验材料为工业上广泛应用的 LY11 合金, 其固相线温度为 513 ℃, 液相线温度为 641 ℃; 半固态区温度范围为 132 ℃, 半固态区间非常大, 适合于半固态加工。LY11 合金 Al-Cu-Mg 合金系, 其主要成分(质量分数, %)为: Cu 3.8~ 4.8, Mg 0.4~ 0.8, Mn 0.40~ 0.8, Ti ≤ 0.15, Zn ≤ 0.3,

① [收稿日期] 2000- 07- 06; [修订日期] 2000- 08- 23

[作者简介] 管仁国(1975-), 男, 博士研究生。

$\text{Fe} \leq 0.7$, $\text{Si} \leq 0.7$, $\text{Ni} \leq 0.1$, $(\text{Fe} + \text{Ni}) \leq 0.7$, 其它杂质 ≤ 0.10 , Al 余量。

1.3 实验过程

将合金加热至 800 °C, 保温 3~4 h, 精炼后通过预热的导流器进入 SCR 实验机, 在 690~790 °C 之间进行浇注。半固态浆料排出辊-靴间隙后, 直接进入收料模, 在空气中自然冷却; 或者进入水冷的收料模进行冷却, 冷却水温度为 10~15 °C。

2 实验结果与讨论

2.1 辊-靴间隙宽度对半固态合金组织的影响

实验证明, 辊-靴间隙过大, 合金液得不到轧辊的剪切作用, 甚至合金液直接沿靴座表面流出出料口, 此时合金的凝固与常规铸造过程无异。辊-靴间隙为 5 mm 时, 750 °C 浇注得到的 LY11 合金坯料冷却后的组织如图 2 所示。可以看到辊-靴间隙过大, 使合金凝固时得不到有效剪切, 从而枝晶发达, 组织结构粗大。反之, 当辊-靴间隙过小时, 由于辊-靴间隙容纳的合金液量较少, 合金液体层较薄, 合金散热速度很快, 合金液进入辊-靴间隙后, 立即形成凝固壳并紧紧覆盖在轧辊表面, 即使浇注温度较高, 合金在出料口也会发生完全凝固, 从而得不到半固态合金, 凝固在轧辊表面的合金难以清除, 甚至造成“死机”。通过实验, 确定出有效辊-靴间隙宽度为 2~3 mm。

2.2 浇注温度对半固态合金组织的影响

在不同的浇注温度下, SCR 法制得的半固态 LY11 合金坯料水冷后的显微组织如图 3 所示, 晶

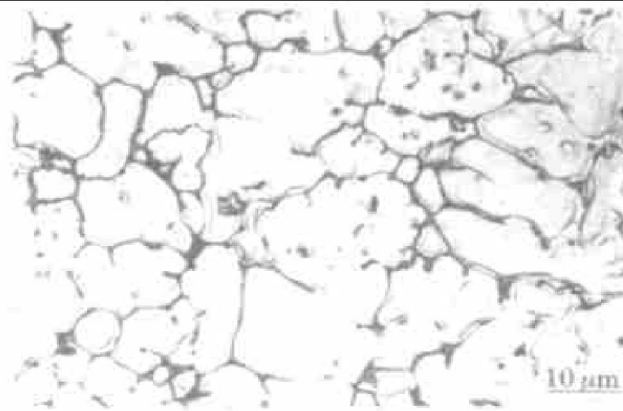


图 2 辊-靴间隙过大时凝固组织

Fig. 2 Microstructure after solidification when gap between roll and shoe is much bigger

粒度与浇注温度的关系曲线如图 4 所示。

由图 3 和图 4 可见, 1) 随浇注温度降低, 合金内部晶粒由大变小。在较高浇注温度下这种变化不明显, 而低于约 750 °C 时这种变化非常明显; 2) 在浇注温度低于约 730 °C 时, 树枝晶开始生长, 温度越低, 树枝晶越发达; 3) 在本实验工艺条件下, 浇注温度在 730~750 °C 范围内, 可得到细小、均匀的球状或椭球状晶粒组织。

SCR 法制备半固态合金时, 当固相体积分数不太高时, 在轧辊的剪切作用下, 自由晶粒发生运动, 使晶粒受剪切与长大的机会基本趋于均等, 合金晶粒趋于球形, 晶粒大小也基本均匀。在 750~790 °C 浇注时, 热量散失所需时间长, 冷却对晶粒长大的抑制作用较小, 晶粒大小变化不明显; 而浇注温度低于 750 °C 时, 热量散失所需时间短, 晶粒长大受到抑制, 冷却后得到的半固态合金坯料的晶粒随温度的降低而明显减小。一般情况下, 合金凝固时枝晶生长与 2 个因素有关, 一个是凝固界面前

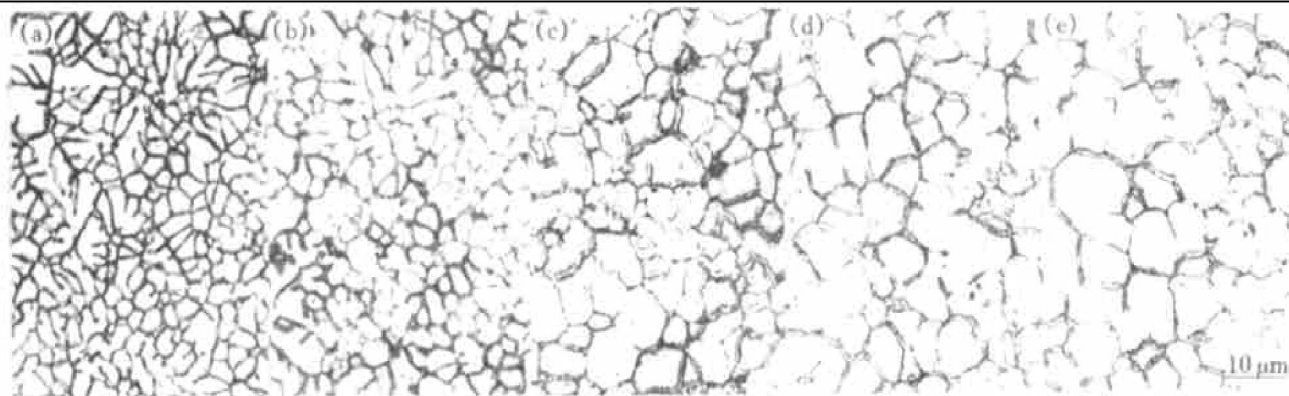


图 3 不同温度浇注制得的 LY11 半固态合金材料水冷后的显微组织

Fig. 3 Microstructures of semi-solid LY11 alloy produced from different pouring temperatures by water-cooling

(a) -710 °C; (b) -730 °C; (c) -750 °C; (d) -770 °C; (e) -790 °C

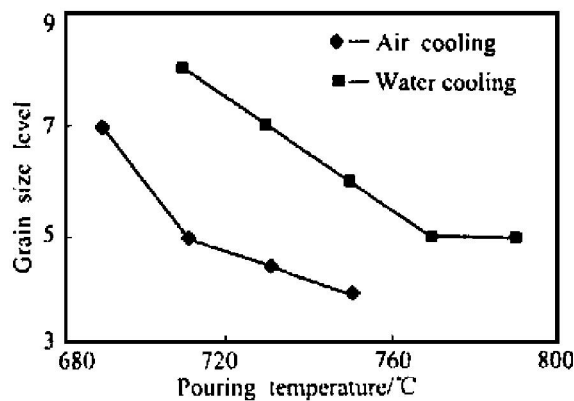


图 4 浇注温度与晶粒度的关系

Fig. 4 Relationship between grain size level and pouring temperature

沿的温度梯度, 另一个是成分过冷度。浇注温度越低越容易导致凝固界面前出现负温度梯度, 出现枝晶生长。实验发现浇注温度低于 730 °C 时, 合金出现等轴枝晶生长, 如图 3(b) 所示, 随浇注温度进一步降低, 枝晶越发达, 如图 3(a) 所示。

2.3 冷却方式对半固态合金组织的影响

用 SCR 法制备 LY11 半固态坯料时, 冷却方式主要影响合金晶粒的大小与分布, 而对晶粒形状的影响不明显。图 5 所示为在 750 °C 与 710 °C 浇注空

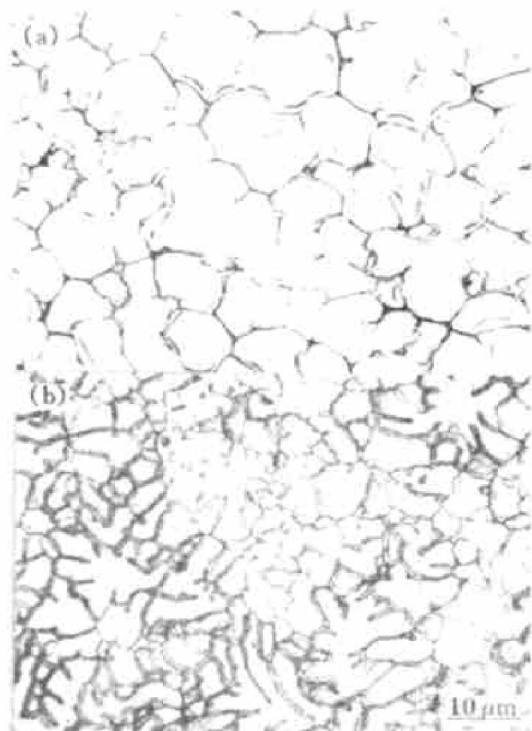


图 5 空冷 LY11 半固态合金坯料的显微组织

Fig. 5 Microstructures of semisolid LY11 alloy by air-cooling

(a) -750 °C; (b) -710 °C

冷制得的合金坯料的显微组织。与水冷制得的合金坯料相比, 可得到以下几点: 1) 不管是空冷或水冷, 都存在相同的浇注温度界限。浇注温度高于约 750 °C, 晶粒尺寸和形状随浇注温度的变化不明显; 浇注温度低于约 730 °C, 合金坯料内部出现枝晶, 温度越低, 枝晶越发达; 浇注温度越低, 合金组织越细小。2) 在相同的浇注温度条件下, 空冷制得的半固态合金坯料晶粒尺寸较水冷时大 2~3 个级别, 主要是由于大的冷却强度抑制晶粒生长引起的。3) 空冷时得到的合金坯料晶粒组织较水冷时均匀, 这是由于水冷时冷却强度不均引起的。水冷时坯料外层冷却强度较大, 而越靠近中心冷却强度越小, 因此合金坯料内外冷却强度差较大, 使得晶粒生长不均匀; 而空冷条件下, 这种内外冷却强度差较小, 晶粒的生长较为均匀。

4 结论

1) 辊-靴间隙为 2~3 mm 时才能制得组织细小、均匀的 LY11 半固态合金材料。

2) 浇注温度影响半固态合金坯料内部晶粒的大小与形状。浇注温度高于 750 °C 时, 随浇注温度的降低晶粒细化不明显; 而浇注温度低于 750 °C 时, 随浇注温度的降低晶粒细化非常明显; 当浇注温度低于 730 °C 时, 制得的半固态合金开始出现枝晶。浇注温度在 730~750 °C 范围内, 可制得细小、均匀的球状或椭球状晶粒组织的 LY11 半固态合金。

3) 冷却方式主要影响 LY11 半固态合金坯料的晶粒大小与分布。水冷制得的合金晶粒度比空冷制得的合金晶粒尺寸小 2~3 级; 而空冷制得的半固态合金坯料的晶粒较水冷的均匀。

[REFERENCES]

- [1] Spencer D B, Mehrabian R, Flemings M C. The rheology of a partially solid alloy [J]. Metall Trans, 1972, 3: 1925- 1932.
- [2] Flemings M C. Behavior of metal alloys in the semisolid state [J]. Metall Trans, 1991, 22A: 957- 981.
- [3] Flemings M C, Piek R G, Young K P. Rheocasting [J]. Mater Sci & Eng, 1976, 25: 103- 117.
- [4] Molenaar M, Salemans F W H C, Katgerman L, et al. Rheological behavior and microstructure of stircasting zinc aluminum alloys [J]. J M Sci, 1985, 20: 700- 713.

- [5] Kirkwood, Kapranos P. Semisolid processing of alloys [J]. Metals and Materials, 1989(1): 16–20.
- [6] Midson S P, Brissing K. Semisolid casting of aluminum alloy: a status report [J]. Modern Casting, 1997(2): 41–48.
- [7] Blazek K E, Kelly J E, Pottore S. The development of a continuous rheocaster for ferrous and high melting point alloys [J]. ISIJ International, 1995, 35(6): 813–818.
- [8] Quack C J, Kool W H. Properties of semisolid aluminum matrix composites [J]. Mater Sci Eng, 1994, 183A: 247–252.
- [9] Hans J H. Semisolid processing of alloys and composites [J]. Foundry Management & Technology, 1998, 9: 50–54.
- [10] ZHANG Hao(张 豪), CHEN Zhen-hua(陈振华), KANG Zhi-tao(康智涛), et al. 6066 铝合金多层喷射沉积半固态挤压[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals (中国有色金属学报), 1998, 8(2): 191–196.
- [11] Kirkwood D H. Semisolid metal processing [J]. International Materials Reviews, 1994, 39: 173–189.
- [12] Kiuchi M, Sugiyama S. A new process to manufacture semisolid alloys [J]. ISIJ International, 1995, 35(6): 790–797.

Effects of processing factors on microstructure of semi-solid LY11 alloy during single-roll shearing/cooling process

GUAN Ren-guo, CHEN Yan-bo, WEN Jing-lin

(Institute of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China)

[Abstract] A self-made single-roll shearing/cooling (SCR) machine was used to manufacture semi-solid LY11 alloy. Effect of processing factors on the microstructures were studied. The results show that the optimum gap between roll and shoe varies in 2~3 mm; pouring temperature can affect grain size and its shape of semi-solid alloy. When cast at 730~750 °C, fine and even grains with spherical or elliptical structures can be obtained. Cooling style can affect grain size and distribution. Grain size of alloy produced from water-cooling is 2~3 level smaller than that from air-cooling, but grains produced from air-cooling are even.

[Key words] shearing; semi-solid alloy; pouring temperature; cooling

(编辑 杨 兵)