

2618 铝合金半固态压缩变形特性^①

刘 丹 崔建忠

(东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110006)

夏克农

(墨尔本大学机械制造工程系, 澳大利亚)

摘 要 采用常规铸造和液相线铸造的 2618 铝合金在 Gleeble-1500 型热学-力学模拟试验机上在不同变形温度和变形速率下进行半固态压缩, 变形温度为 490~600 °C, 变形速率为 $5 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ 。结果表明, 常规铸造组织、液相线铸造组织半固态压缩变形抗力均小于固态压缩变形抗力, 并且液相线铸造获得的细小、等轴、非枝晶组织在半固态压缩时的变形抗力小于常规铸造枝晶组织的变形抗力。液相线铸造组织的成形性能优于常规铸造组织。

关键词 铝合金 常规铸造 液相线铸造 半固态 压缩变形

中图法分类号 TG244.1 TG319

半固态加工就是指金属或合金在液固相线温度区间进行的加工。自从 70 年代在麻省理工学院被发现以来^[1], 半固态金属基本物性被广泛地研究^[2~6], 然而迄今为止金属半固态加工工业化速度还很缓慢。半固态加工不同于传统的全液态铸造和全固态锻造, 具有加工温度低、凝固收缩少、能量消耗少和模具寿命延长等特点。半固态加工要求其组织为细小、等轴的非枝晶晶粒悬浮于后凝固液相中。在结晶温度区间, 固、液相共存, 液相的存在改变了金属变形机理和流动条件。本文通过采用液相线铸造法即在合金的液相线温度进行铸造获得半固态加工所要求的细小、等轴、非枝晶组织, 同时采用轴对称压缩试验研究了金属和合金的半固态变形特性, 以期找出金属半固态变形规律, 推进金属半固态加工的实际应用。

1 实验材料与方法

实验材料采用工业用 2618 变形铝合金, 在电阻炉中用石墨坩埚采用纯 Al, Cu, Mg, Fe, Ni 和 Al-Si, Al-Ti 中间合金熔炼; 合金的

化学成分(质量分数, %)为: Al-1.80Cu-1.46Mg-0.91Fe-0.58Ni-0.30Si-0.062Ti。由 DTA 差热分析测定合金的液相线和固相线温度分别为 638 °C 和 549 °C。将合金 2618 加热至 750 °C, 停炉冷却至 638 °C, 然后立即铸入圆柱形钢模中, 钢模外径为 106 mm, 内径为 70 mm, 高 100 mm。检查该液相线铸造试样的金相显微组织。

由 638 °C 铸造和 750 °C 铸造锭坯加工成 $d 8 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ 的热模拟压缩试样, 在 Gleeble-1500 型热学-力学模拟试验机上, 按照图 1

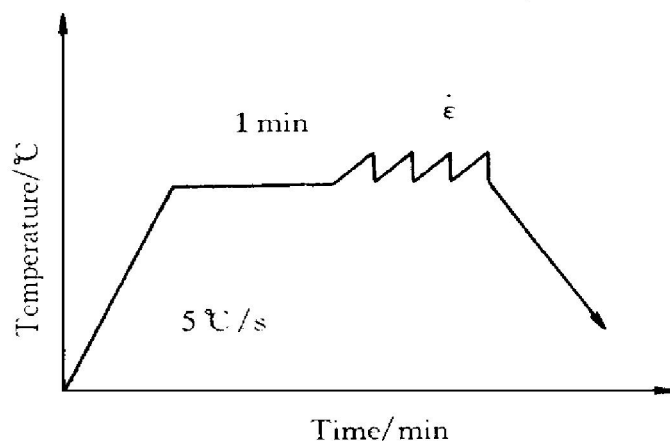


图1 压缩工艺图

Fig. 1 Technology of compression

① 辽宁省科委资助项目 97704020 收稿日期: 1998-10-05; 修回日期: 1998-12-18
刘 丹, 女, 29 岁, 博士研究生

所示的工艺,将试样以 $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 的升温速度加热至不同的变形温度(490, 560, 580 和 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$)保温 1 min 后以 $5 \times 10^{-3}\text{ s}^{-1}$ 的变形速率压缩 50%,测应力-应变曲线。同时为了考察变形速率对于合金变形抗力的影响,采取同样工艺将试样加热至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$,以不同的变形速率 $\dot{\epsilon}$ (5×10^{-3} , 5×10^{-2} 和 $5 \times 10^{-1}\text{ s}^{-1}$) 进行压缩,测应力-应变曲线。将部分试样压缩后立即进行水淬,检查其显微组织及其液相偏析情况。

2 实验结果及讨论

2.1 铸造组织

图 2(a) 为 2618 变形铝合金在 $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的常规铸造组织,可以看出,其组织为具有粗大不规则枝晶臂的枝晶组织。而图 2(b) 为 2618 变形铝合金在液相线 $638\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的铸造组织,与常规铸造组织完全不同,其初始晶粒为细小、等轴的非枝晶晶粒,由 Q-900 图象分析仪测定初始晶粒平均直径为 $\sim 39.2\text{ }\mu\text{m}$,圆度为 1.838,试样晶粒等积圆直径(晶粒长轴直径)分布在 $15\sim 55\text{ }\mu\text{m}$,而圆度(周长²/(4 π 面积))分布基本在 1.2~2.0,初始固相百分数为 49.9%。

铸造温度对铸造组织影响很大,降低浇注温度有利于等轴晶的形成^[7-10]。当过热足够

低时,整个熔体过冷,并且发生均匀成核,导致整个铸锭中柱状晶区的消失^[11],而铸锭完全由细小、等轴晶粒组成。在液相线温度铸造,整个熔体在浇注前无过热,在浇注后一定过冷,因此,由于熔体过冷,热量由凝固液相向其周围液相流动,浇铸后在熔体中形成大量晶核,并长大成为等轴晶,导致整个铸锭细小、等轴“非枝晶”组织的形成。

冷却速度对铸造组织也有一定的影响,采用液相线铸造法必须在一定的冷却速度条件下才能获得细小、球形的非枝晶组织。作者前期工作^[12]表明,在上述常温钢模中液相线铸造 2618 铝合金能获得细小、等轴的非枝晶组织,而在水冷铜模中只能得到细小的枝晶组织,在预热 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 钢模中虽然也能得到球形晶粒,但晶粒尺寸有所长大,并且铸锭组织中有粗大的金属间化合物出现。

2.2 再加热组织

将液相线铸造试样以 $5\text{ }^{\circ}\text{C/s}$ 升温速度加热至 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$,保温 1 min 后立即进行水淬,水淬后显微组织如图 3 所示,其原始铸造组织变化不大,晶粒仍然为球形晶粒。只是稍微有点长大,并且晶界变细。

2.3 半固态压缩变形抗力

图 4 为常规铸造组织、液相线铸造组织在

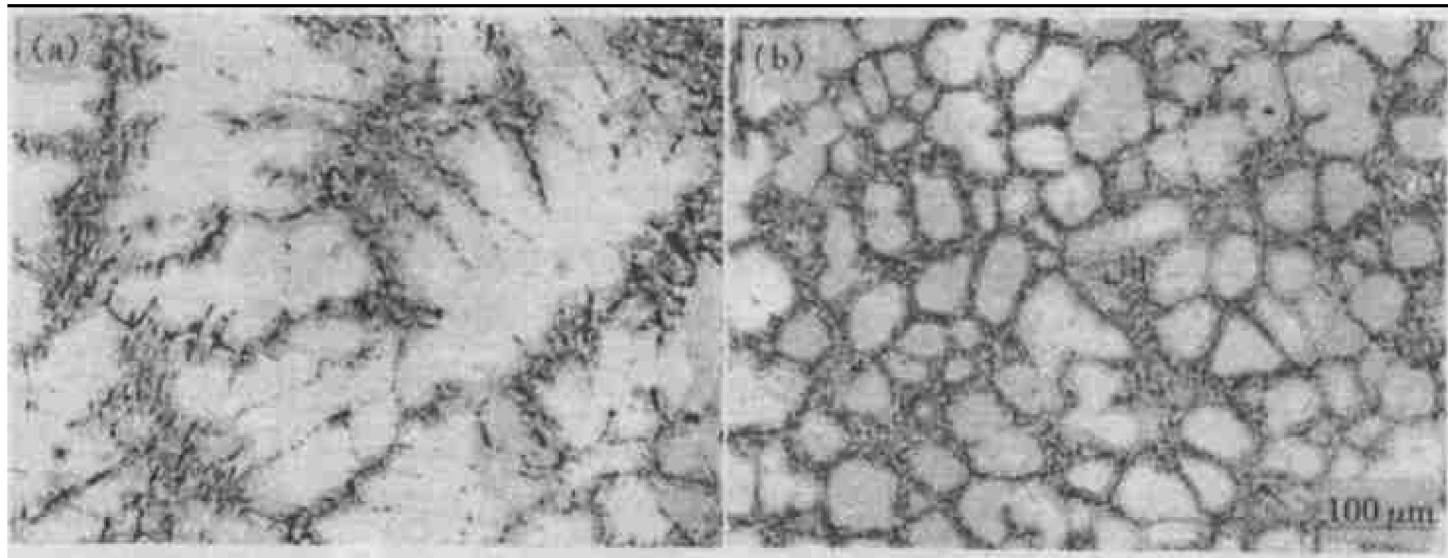


图 2 铝合金 2618 铸造组织

Fig. 2 As-cast microstructures of 2618 alloy for conventional casting (a) and liquidus casting (b)

变形速率 $\dot{\varepsilon} = 5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ 时, 不同变形温度 (490, 560, 580 和 600 °C) 下的应力-应变关系曲线。由图可以看出, 常规铸造组织、液相线铸造组织半固态压缩变形抗力均远远小于其固态压缩时变形抗力, 并且液相线铸造组织固态及半固态压缩变形抗力均小于常规铸造组织固态及半固态压缩变形抗力。由图还可以看出, 无论常规铸造组织还是液相线铸造组织, 在半固态压缩变形时, 随着变形温度的升高,

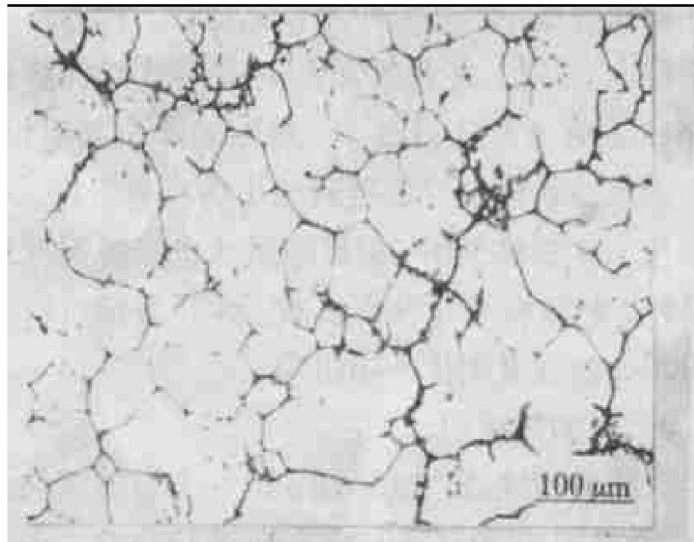


图3 液相线铸造2618再加热组织

Fig. 3 Microstructure of alloy 2618 cast from liquidus temperature after reheating

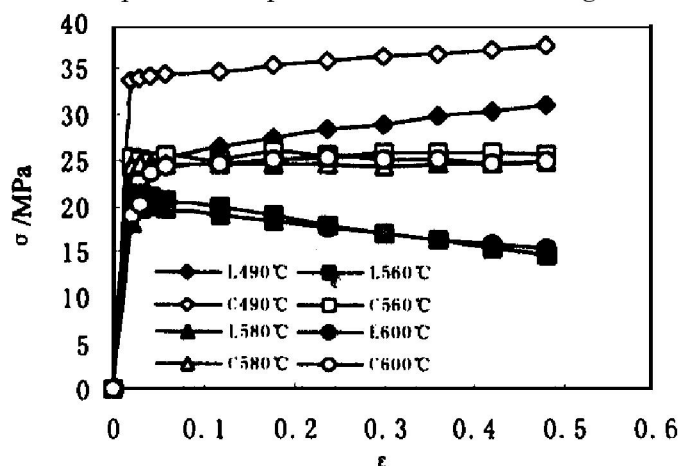


图4 2618 铝合金在不同变形温度下的应力-应变曲线 ($\dot{\varepsilon} = 5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$)

Fig. 4 Curves of stress-strain relation at various temperatures for 2618 aluminum alloy

L—Liquidus cast structure;
C—Conventional cast structure

变形抗力降低。并且随着变形程度的提高, 与固态压缩发生应变-硬化相反, 半固态压缩发生应变软化现象, 应力在 $\varepsilon = 0.05$ 左右达到最大值后降低。

图5为液相线铸造组织在600 °C时不同变形速率 (5×10^{-3} , 5×10^{-2} 和 $5 \times 10^{-1} \text{ s}^{-1}$) 下的应力-应变关系曲线, 由图可以看出, 随着变形速率的升高, 变形抗力增加。随着变形程度的增加, 应力在 $\varepsilon = 0.05$ 左右达到最大值后同样发生应变软化现象。

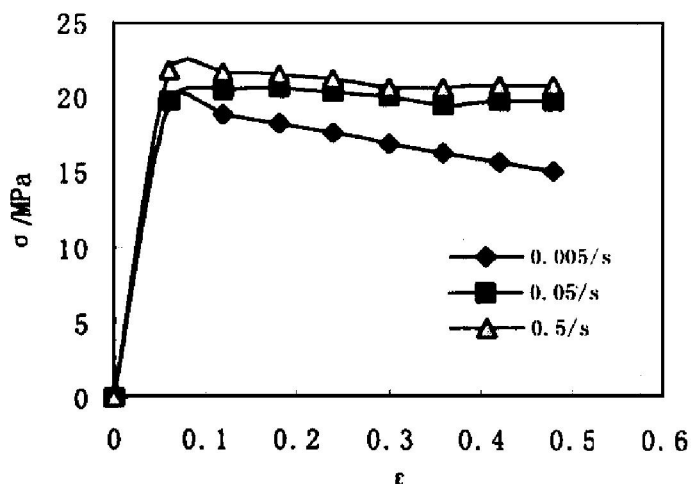


图5 液相线铸造2618 铝合金在不同变形速率下的应力-应变曲线(600 °C)

Fig. 5 Curves of stress-strain relation at various deformation rates the liquidus casting 2618 aluminum alloy (600 °C)

在固态压缩变形时, 常规铸造组织中的粗大枝晶形成连续的网络骨架, 承受应力的能力较强, 因而压缩变形时变形抗力较高。而液相线铸造的球形组织较易变形, 因而变形抗力较低。

在半固态压缩变形时, 由于晶界局部熔化, 液相线铸造组织的变形机制主要为初始晶粒的旋转、滑动, 而晶粒变形很小, 因而变形抗力大大降低。而常规铸造组织在半固态压缩时, 虽然晶界也有局部熔化, 出现液相, 但其所具有的粗大枝晶组织阻碍变形的进行, 因而枝晶臂的变形也使变形抗力增加。

2.4 半固态压缩后试样显微组织

图6(a)和图6(b)示出了液相线铸造试样在600 °C压缩10%和20%后的显微组织, 图6

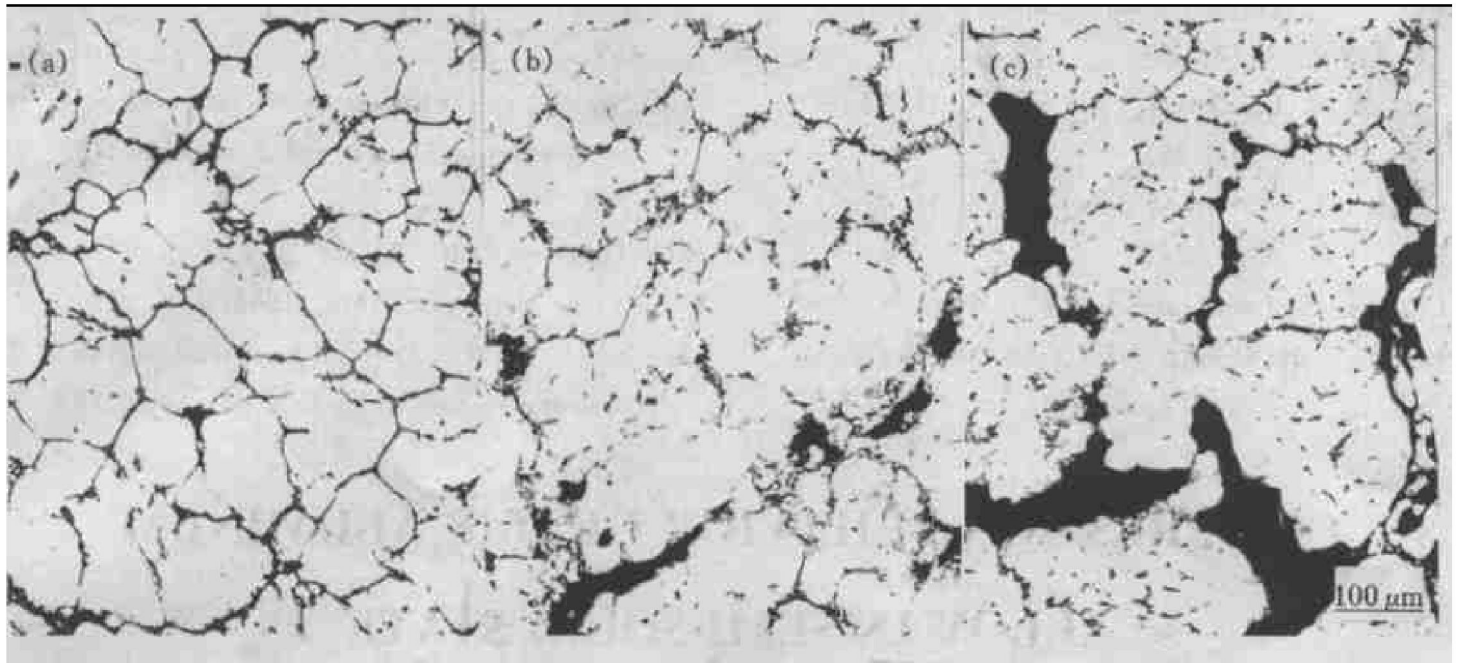


图6 铝合金2618 半固态压缩不同变形量后的显微组织

Fig. 6 Microstructures for 2618 aluminum alloy after compression in semisolid state with different strains ($600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\dot{\epsilon} = 5 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$):

(a) L, $\epsilon = 10\%$; (b) L, $\epsilon = 20\%$; (c) C, $\epsilon = 10\%$

L—liquidus cast structure; C—conventional cast structure

(c) 示出了常规铸造组织在 $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 压缩10%后的显微组织。由图可以看出试样均无液相偏析出现,液相线铸造试样压缩后晶粒仍保持为球形,随着变形程度的增加,有少量细微的沿晶裂纹出现。而对于常规铸造组织在半固态小变形量压缩后即有严重的沿晶裂纹出现。其原因可能是由于试样加热至半固态,晶界局部熔化有液相出现,在外力作用下,晶界处液相从晶界处分离,而其相邻液相、固相又未及时填充,此时晶界承受应力能力下降,导致裂纹沿晶界产生。

3 结论

(1) 在液相线温度铸造工业用2618变形铝合金,其铸造组织由细小、等轴、非枝晶晶粒组成,适合于进行半固态加工。

(2) 常规铸造组织、液相线铸造组织半固态压缩变形抗力均远远小于其固态压缩时变形抗力,并且液相线铸造组织固态及半固态压缩

变形抗力均小于常规铸造组织固态及半固态压缩变形抗力。在液-固相区,随着变形温度的升高,变形抗力降低;随着变形速率的升高,变形抗力也增加。随着变形程度的增加,应力发生应变软化现象。

(3) 在半固态压缩时,为避免表面裂纹和心部裂纹的产生必须采取闭模锻压。

(4) 液相线铸造组织在半固态压缩20%后,组织仍为细小球形晶粒,无液相偏析,有极少量微裂纹出现。而常规铸造组织半固态压缩10%后虽也无液相偏析,但试样组织中有严重的沿晶裂纹出现。液相线铸造组织更适合于进行半固态加工。

REFERENCES

- 1 Spencer D B, Mehrabian R and Flemings M C. Metall Trans, 1972, 3: 1925.
- 2 Joly P A and Mehrabian R. J Mater Sci, 1976, 11: 1393.
- 3 Turng L S and Wang K K. J Mater Sci, 1991, 26:

- 2173.
- 4 Moon H-K, Cornie J A and Flemings M C. Mater Sci Eng, 1991, A144: 253.
- 5 Loue W R, Landkroon S and Kool W H. Mater Sci Eng, 1992, A151: 255.
- 6 Quaak C J, Horsten M G and Kool W H. Mater Sci Eng, 1994, A183: 247.
- 7 Chalmers B. J Australian Inst Met, 1963, 8: 255.
- 8 Cole G S and Bolling G F. Trans Met Soc AIME, 1965, 233: 1568.
- 9 Biloni H and Chalmers B. J Mater Sci, 1968, 3: 139.
- 10 Spittle J A, Dellamore G W and Smith R W. The Solidification of Metals. ISI Publication 110, 1968: 318.
- 11 Uhlmann D R, Seward III T P and Chalmers B. Trans Metall Soc AIME, 1966, 236: 527.
- 12 Liu Dan (刘 丹) and Cui Jianzhong (崔建忠). Foundry Technology (铸造技术), 1998, (6).

COMPRESSION BEHAVIOR OF 2618 ALUMINUM ALLOY IN SEMI-SOLID STATE

Liu Dan and Cui Jianzhong

Materials and Metallurgy College,

Northeastern University, Shenyang 110006, P. R. China

Xia Kenong

Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,

Melbourn University, Australia

ABSTRACT 2618 aluminum alloy attained by conventional casting and liquidus casting was compressed in semi-solid at different deformation temperatures from 490~ 600 °C and different deformation rates ranging from 5×10^{-3} to 5×10^{-1} s⁻¹ by means of Gleeble-1500 thermal-mechanical simulator. The results showed that the resistance to deformation of compression in semi-solid state is lower than that in solid state, for both conventional casting and liquidus casting structures; the resistance to deformation of the fine, equiaxed and non-dendritic grains of primary microstructure attained by liquidus casting in semi-solid state is remarkably lower than that of conventional casting dendritic microstructure; the formability of liquidus cast structure is better than that of the conventional cast structure.

Key words 2618 aluminum alloy conventional casting liquidus casting semi-solid compression deformation

(编辑 何学锋)