

在线氮气冷却技术的等温挤压工艺与系统研究

刘再德

深圳华加日铝业有限公司,广东 深圳 518052

摘 要:介绍了铝合金型材挤压过程中氮气冷却系统的工作原理。采用氮气冷却后,挤压速度由23 m/min提高到35 m/min,型材的温度仍然保持恒定,并降低了型材表面的粗糙度。经氮气冷却处理后,型材组织的晶粒度和试件的硬度分布更加均匀。在铝合金型材挤压过程中采用在线氮气冷却技术,有助于改善提高挤压速度对型材质量造成的不良影响。

关键词:铝型材;等温挤压;冷却

中图分类号:TG312

文献标识码:A

目前,随着铝型材在工业领域的应用越来越广,对铝型材形状、尺寸精度及表面质量的要求越来越高,市场竞争也越来越激烈,各生产企业为了达到产品要求,降低成本,提高生产效率,对挤压生产线进行改进。在挤压生产线的改造过程中,除设法减少挤压机辅助时间外,还采用提速挤压法,简称IES(Increase Extrusion Speed)。在国内,提高挤压速度的传统方法是采用低温挤压技术。在国外,先进的挤压生产线往往是采用模具或挤压筒冷却,以分散和抵消金属变形和挤压过程摩擦所产生的部分热量,防止模具温度随着挤压速度的提高而升高,保证型材尺寸和形状的稳定,并防止表面出现质量缺陷。

本文结合实际情况,利用液氮冷却模具的方法实施在线氮气冷却以实现等温挤压,并从实验数据中分析评估高速等温挤压的可行性和经济价值。

1 氮气冷却等温挤压系统原理

1.1 铝型材等温挤压的分析

目前,铝型材等温挤压的方式主要有三种:一是铸锭的热量梯度调节形式,即对铸锭进行梯度加热或梯度冷却,通过对铸锭热量的梯度调节实现型

材的等温挤压;二是设置温度和速度的闭环控制系统,通过获取型材的出口温度信息,调节控制挤压速度来实现等温挤压;三是采用耦合仿真技术,对挤压过程的速度和温度参数进行热—力耦合仿真,通过耦合仿真的温度—速度曲线图,对挤压速度进行控制来达到等温挤压^[1]。

在型材的实际挤压过程中,不提高挤压速度很难提高生产效率。而提高挤压速度,型材的出口温度随之上升。挤压出口温度是一关键参数,不仅影响型材的机械性能,而且影响型材的表面质量和尺寸精度。当挤压出口温度太高时,型材就会出现各种外观质量问题及尺寸精度问题,特别是粗晶现象不可避免^[2]。在型材挤压的过程中引入氮气冷却技术,可将因提速而产生的多余热量进行分流,确保铸锭在等温状态下挤压,控制型材的出模口温度,保证型材质量的稳定^[3]。

等温挤压是指型材在恒定的温度(温差 $\pm 10^{\circ}\text{C}$)下对加热铸锭进行挤压成形。等温挤压可使挤压稳定,保证产品质量,提高生产率。在挤压速度提高的情况下,挤压筒中的铸锭的温度趋向逐步上升的趋势,靠近模具口的铸锭温度接近或高于挤压筒的温度。氮气冷却是为确保在挤压速度提高的情况下,能使模具进行有效冷却,消除因提速所增加的多余

收稿日期:2012-02-15

作者简介:刘再德(1956-),男,湖南长沙人,高级工程师,本科。

热量,使挤压在等温的环境中进行。

铝锭在挤压过程中的变形功所产生的温度升高值 ΔT_1 :

$$\Delta T_1 \approx \frac{K_f \varphi}{\rho C_p} \quad (1)$$

式(1)中 ρ 是铝的密度, C_p 是铝在常压下的比热, K_f 坯料和模具间的接触法向应力, φ 是摩擦系数。

挤压过程中铝锭与挤压筒表面因摩擦所产生的温度升高值 ΔT_2 :

$$\Delta T_2 \approx \frac{K_f \varphi}{4\rho C_p} \sqrt{\frac{v_a L_0}{aR}} \quad (2)$$

式(2)中 v_a 是挤压型材的出口速度, a 为热扩散率, R 为挤压比, L_0 为铝锭长度。

模孔与型材表面之间的摩擦所产生的温度升高值 ΔT_3 :

$$\Delta T_3 \approx \frac{K_f}{4\rho C_p} \sqrt{\frac{sv_a}{aR}} \quad (3)$$

式(3)中 s 为模具工作带的长度。

挤压型材出口温度 T 可在铝锭进入挤压筒的温度 T_0 的基础上计算出来。

$$T = T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad (4)$$

从(1)~(4)式可以看出,在型材挤压的过程中,主要考虑了温度的变化。使用氮气冷却技术,利用挤压部件温度感应器和计算机智能化控制,可控制挤压筒、铝锭、模具之间的热量交换,有效地保证挤压成型在恒温的状态下进行^[4-6]。

1.2 氮气与热量的线性多变量回归设计

为了实现等温挤压,充分掌握挤压过程中的温度和相关信息,可建立等温挤压的数学模型。为保证型材在加速挤压的过程中保持温度恒定,冷却系统需要不断地调节氮气的投放量。氮气的投放量与型材提速所产生的多余热量的关系性,可利用模型的线性多变量回归算法来实现。

线性回归是计算机算法中一种最简单的回归方法^[7-9]。算法中利用了一个因提速产生多余热量的自变量 X 来为氮气投放量的因变量 Y 建模。具体回归模型为式(5)。

$$Y = \alpha + \beta X \quad (5)$$

式(5)中 Y 的变化速率假设是常数; α 和 β 为回归系数,分别表示 Y 的截距和直线的斜率。利用最小二乘法可以获得这两个回归系数,同时也使得实际数据与直线模型预测结果之间的差距最小。给定 s 个

样本(点),其形式为: $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots, (x_i, y_i)$,利用公式(6)就可以计算出相应的回归系数。

$$\beta = \frac{i \sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^i (x_i - \bar{x})^2}, \quad \alpha = \bar{y} - \beta \bar{x} \quad (6)$$

式(6)中 $\bar{x}$ 为 $x_1, x_2, x_3 \cdots, x_i$ 的均值; $\bar{y}$ 为 $y_1, y_2, y_3 \cdots, y_i$ 的均值;回归系数 α 和 β 为氮气投放量与提速的多余热量的数据模型提供了较好的近似回归公式。

1.3 氮气冷却系统

1.3.1 氮气冷却系统的结构

氮气冷却系统分为四部分:系统中枢、感应系统、控制系统和氮气冷却系统。(1)系统中枢(计算机系统的软件和硬件):系统中的软件是采用线性多变量回归算法计算型材挤压速度所产生热量的增加量与氮气释放量的回归关系,并把信息传输到控制系统,对氮气流量和压力进行控制。客户端界面提供人机信息对话和监控。(2)感应系统:检测和收集铝坯、挤压筒、挤压轴、模具和出口处等构件的温度。将收集到的热量信息输送给电脑系统,系统依据实时的热量和速度通过线性回归算法计算出型材等温的冷却剂的用量。(3)控制系统:该系统是系统中枢连接冷却剂供应系统的桥梁,主要由一系列的控制组成。控制器接收到中枢系统发来的信息,对冷却系统进行流量和气压的调节。(4)氮气冷却系统:氮气冷却的原理是在挤压过程中将氮气引进挤压模出口处放出,对挤压模和变形区金属进行冷却,使被冷却的制品急速收缩,同时模子出口处被氮的气氛所控制,减少铝被氧化带来的不良影响。为了达到更好的冷却效果,本系统采用氮模垫冷却和前梁口冷却,其冷却结构如图1所示。模垫冷却是采用图2所示的矩形冷却结构。出模口冷却是采用环形冷却,环形结构的冷却面广,冷却效果较好,其结构如图3所示。图3所示的多层次冷却系统可确保模具温度的均衡和稳定。

1.3.2 系统的工作流程

图4为氮气冷却的工作流程:(1)设定特定产品的恒温挤压参数 t 。(2)型材挤压提速。(3)收集各部件的温差变化。(4)型材出口温度检测。(5)型材出模口温度信息反馈。(6)出模口温度与设定温度比较。(7)如果出口温度 T 大于 t ,则启动冷却装置,否则冷却装置处于关闭状态。(8)多变量回归算法求

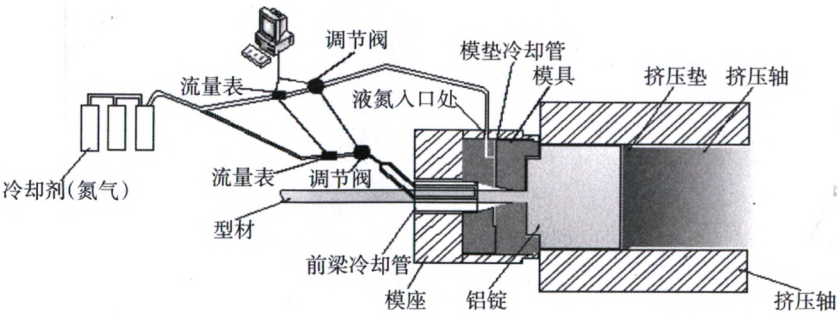


图1 冷却系统结构图
Fig.1 The cooling system structure

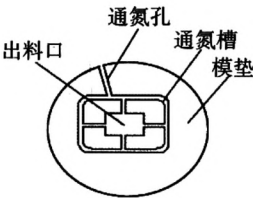


图2 模垫氮气冷却平面图
Fig.2 The N₂-cooling mold-pad plan structure

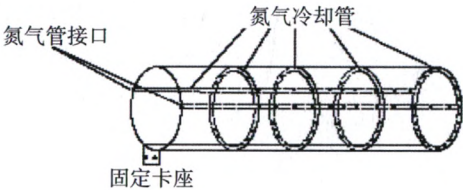


图3 前梁口环状氮气冷却结构图
Fig.3 The ring N₂-cooling structure in the front beam

得氮气释放量。(9)氮气调节阀开启(电控)。(10)模具及部件冷却。

计算机系统提供了个性化的人机对话界面,实时地跟踪出模口的温度变化,同时也可以按照不同的合金适当地调整出模口温度的设定值,按照速度的变化模式向控制系统发出温度等速或者温度变

速的模式。

2 实验效果与分析

2.1 型材的金相组织

采用氮气冷却对铝型材内部组织结构的晶粒度有较大影响。图5为有氮冷却和无氮冷却的型材的金相组织。从图5可以看出,经氮气冷却处理后,型材组织的晶粒度大于无氮处理的,并且经氮气处理后的晶粒度比较均匀。

晶粒度计算: $S \approx 5.76 \text{ mm}^2$, $N_1 \approx 28$ 个, $N_2 \approx 20$ 个(N_1 为有氮冷却的晶粒个数, N_2 为无氮冷却的晶粒个数)。有氮冷却的组织晶粒度: $N_1/S \approx 4.86$ 个/ mm^2 , 无氮冷却的组织晶粒度: $N_2/S \approx 3.47$ 个/ mm^2 。

2.2 硬度的均匀性分析

在生产中出现铝型材硬度不均匀是常见的现象,同一批产品往往出现多个不同的硬度。而通过氮气冷却处理,可大大提高铝型材硬度的均匀性。图6为经过氮气处理和未经氮气处理的型材的硬

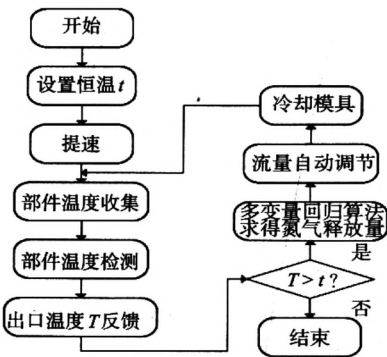


图4 冷却系统的工作流程图
Fig.4 The flow chart of achievement of the cooling system

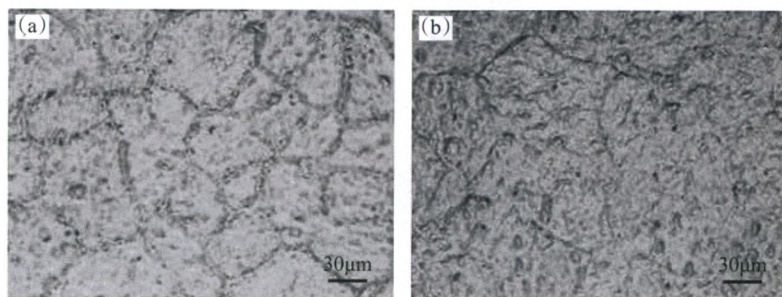


图5 晶粒大小对比图

(a)有氮冷却;(b)无氮冷却

Fig.5 The grain size comparison chart

度.由图6可以看出,经氮气冷却后,试件的硬度略高于无氮冷却的,并且硬度分布更加均匀.

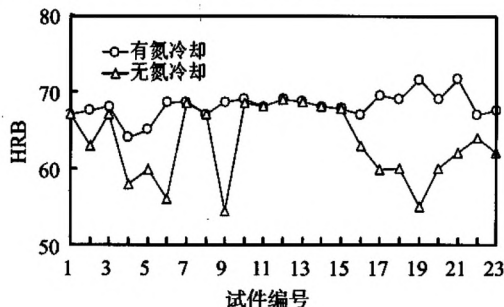


图6 硬度分布图

Fig.6 The hardness distribution

2.3 速度与温度变化的分析

按照通常的参数设定方式,铸锭的温度保持在430℃左右(挤压速度不低于16 mm/s).6063合金型材的温度不得超过500℃,6005合金的最高温度为512℃,6061合金的出模口温度不高于525℃.在实验中观察温度随挤压速度提高的变化情况,以及型材表面质量的变化.图7为6063合金型材在氮气冷却和无氮气冷却的情况下,挤压速度对出模口温度的影响.

由图7可知,当挤压速度由23 m/min提高到35 m/min时,采用氮气冷却后,6063合金型材的温度不超500℃(在所设定的范围内),而无氮气冷却的型材,其温度超过500℃.

图8为挤压速度提升后6063合金型材表面粗糙度的对比图.图8显示有氮冷却的型材表面明显比无氮冷却的型材表面光滑,且型材表面和尺寸等

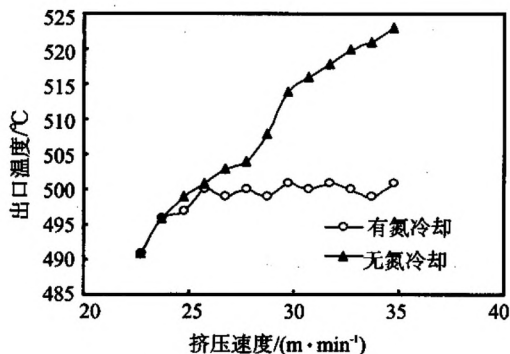


图7 6063合金型材挤压速度与温度变化图

Fig.7 The chart of the 6063 aluminum alloy mold extrusion speed and the exit temperature

均合格.使用氮气冷却后将减少附着在空刀上的铝渣,有助于降低表面的粗糙度.前梁口的氮气有助于降低残留氧气的浓度,使用环状结构可将氧气浓度降低到6%以下,保证了产品质量,提高了生产效率.

3 结论

在铝型材挤压的过程中引入在线氮气冷却技术后,挤压速度由23 m/min提高到35 m/min,型材的温度仍然保持恒定,并降低了型材表面的粗糙度.经氮气冷却处理后,型材组织的晶粒度和试件的硬度分布更加均匀.采用在线氮气冷却技术,有助于改善因提高挤压速度而对型材质量造成的不良影响,同时提高了生产效率.

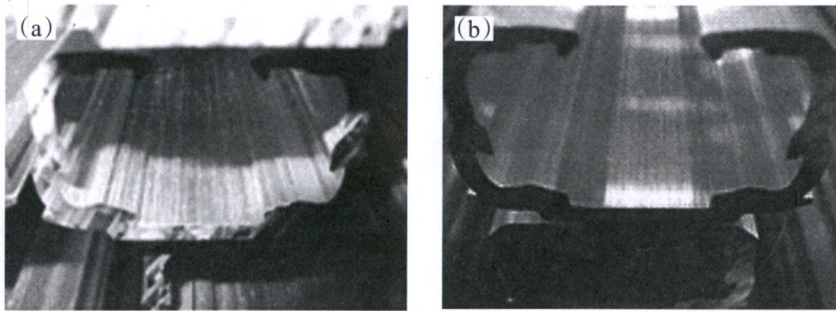


图8 6063合金型材表面粗糙度的对比图

(a)无氮冷却;(b)有氮冷却

Fig.8 The comparison chart of the 6063 aluminum alloy mold roughness

参考文献:

- [1] 张君,杨合,何养民,等.铝及铝合金型材等温挤压关键技术研究进展[J].重型机械,2003(6):1-5.
- [2] 吴向红,赵国群,孙胜,等.挤压速度和摩擦状态对铝型材挤压过程的影响[J].塑性工程学报,2007,14(1):36-41.
- [3] 刘静安.金属挤压成形理论与技术发展的现状与趋势(3)[J].铝加工,2001,24(1):1-5.
- [4] 张君,杨合,何养民,等.铝型材等温挤压控制的研究[J].机械工程学报,2004,40(4):149-153.
- [5] DUAN X J, VELAY X, SHEPPARD T. Application of finite element method in the hot extrusion of aluminum alloys[J]. Materials Science and Engineering, 2004, A369: 66-75.
- [6] 冷艳,景作军.铝棒材等温挤压技术综述[J].北方工业大学学报,2004,16(1):54-64.
- [7] MURAI T, MATSUOKA S, MIYAMOTO S, et al. Effects of extrusion conditions on microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy extrusions [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 141: 207-212.
- [8] 黄科. AA6063 矩形截面铝型材挤压有限元分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2007.

The research on isothermal extrusion process using liquid N₂ to cool in real-time

LIU Zaide

Shenzhen Nonfermet International (China-Canada-Japan) Aluminum Co., Ltd, Shenzhen 518052, China

Abstract: This article explains the principal of the N₂-cooling technology during the aluminum extrusion processing. When using liquid N₂ to cool, the speed of extrusion increased from 23m/min to 35m/min, while the die temperature remained constant with the roughness of the extrusion profile being improved. The grain size in the structure of extruded section was well-distributed and the hardness of the extrusion profile was uniform. The method of isothermal extrusion process using liquid N₂ to cool in real-time contribute to improve the extrusion profile quality with high-speed extrusion.

Key words: aluminum; isothermal extrusion; cooling