

# 基于数值模拟的铝合金型材加工过程仿真及工艺优化

万 达 谭晓兰

(北方工业大学, 北京 100144)

**【摘要】**以6063铝合金型材为研究对象,利用QFORM数值模拟软件,对其稳态挤压成型过程进行数值模拟。通过数值模拟,对挤压速度和挤压温度进行了优化,减少缺陷产生,确定合理的工艺范围。

**【关键词】**QFORM 数值模拟 6063 铝合金型材 工艺优化

## 1 前言

挤压型材生产中,方管类型材通常采用分流组合模生产,产品经过表面处理后再在焊合线位置会出现连续黑色或白色条纹,此缺陷在各型材生产厂普遍存在,影响型材的美观,如何有效的解决焊合线条纹缺陷问题成了行业内共同关心的话题,挤压条纹的形成机理,进而减少或消除挤压条纹具有很大的经济和社会效益。通过数值模拟的方法对加工过程进行仿真,通过仿真结果对工艺进行优化可有效降低试验成本,加快工艺改进进度。

根据组织及机理分析可知,挤压过程中变形的不均匀性是导致型材表面出现焊合线缺陷的关键因素。结合型材挤压工艺流程分析影响焊合线的主要工艺参数为铝棒温度及挤压速度。为改善焊合线缺陷,需尽量控制铝棒温度及挤压速度,使焊合线区域与正常基体处的温度、应力-应变较一致。

## 2 模拟用铝棒温度的选择

数值模拟采用的铝棒预热温度的选取,是根据6XXX系铝合金挤压极限图(图1)来确定。挤压极限图为挤压速度、铝棒预热温度、机械性能、表面光洁性及加压能力等之间的关系图。从图1可知,慢挤压速度(A)与低铝棒温度(450)将导致较低的机械性能。较快的挤压速度(B)与较高的铝棒预热温度(500),虽可提高型材出口温度使Mg<sub>2</sub>Si相大量溶解,但将影响型材表面光洁性。因此,综合各方面因素,6XXX系铝合金最佳的铝棒预热温度范围为450~500,数值模拟的温度选择为450、480、510及540。

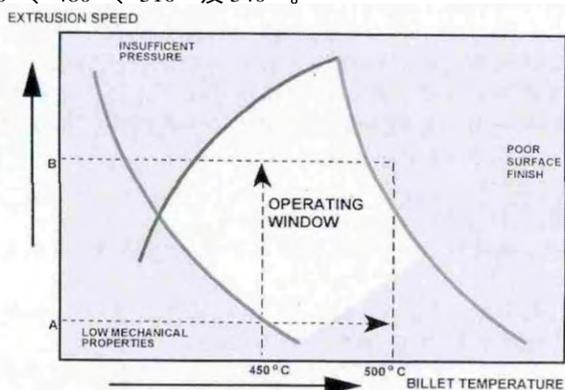


图1 6XXX 铝合金挤压极限图

## 3 模拟用挤压速度的选择

011型材制品流出速度为8m/min,根据制品流出速度与挤压轴前进速度的换算关系(制品(m/sec)=0.06 轴(m/min),为挤压比)计算知挤压轴前进速度为3.08mm/sec。考虑到生产效率,挤压速度不宜过低。在实际挤压速度的基础上,数值模拟的挤压轴前进速度选择2.0、2.5、3.0、3.5及4.0mm/sec,相应制品流出速度分别为5.20、6.50、7.80、9.10及10.40m/min。

## 4 模拟所需参数

### 4.1 坯料材料

断面型号:011;断面面积(mm<sup>2</sup>):1766.11;坯料预热温度( ):450、480、510、540;

坯料长度(mm):850;铝材牌号:6063;米重(kg/m):4.768;坯料直径(mm):300;

### 4.2 设备参数

模具材料牌号H13(4Cr5MoSiV1);挤压筒预热温度( )420;挤压筒直径(mm)312;

挤压机最大载荷(t)4000UST(3636t);铝模具预热温度( )480;挤压筒长度(mm)1150;

挤压比43.3,

### 4.3 几何参数

几何参数	长度	直径
模垫	75	530
模套		800
中环	410	800
后环	230	800

## 5 模拟结果

### 5.1 不同铝棒温度

#### 5.1.1 温度差

采用点追踪法获得的不同铝棒温度下,焊合线区域与正常基体处温度的差别。铝棒温度较低(450)时,两者的温度差最大;预热温度较高(480、510、540)时,两者温度差较小。

#### 5.1.2 应力-应变

图2为铝棒加热温度为540时焊合室内金属的等效应变云图。与正常位置相比,分流桥对应位置的焊合线处等效应变较大,说明挤压过程中分流桥处金属变形不均匀性较显著。

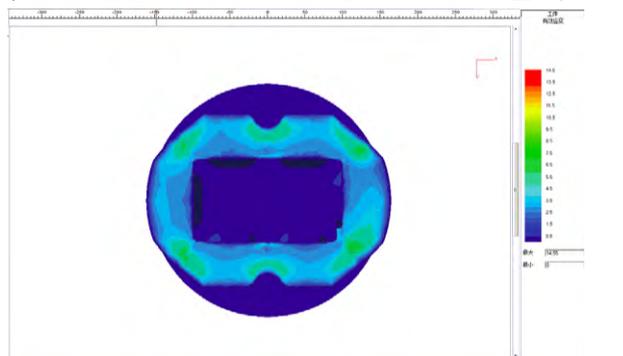


图2 铝棒加热温度为540时焊合室内金属的等效应变云图

图3为不同温度下挤压力的变化曲线。由图可知,相同的挤压速度下,铝棒温度越低所需挤压力越大。挤压力越大,静水压力越大,焊合线将不明显。因此,为获得焊合线不明显的挤压制品,铝棒预热温度不宜过高。

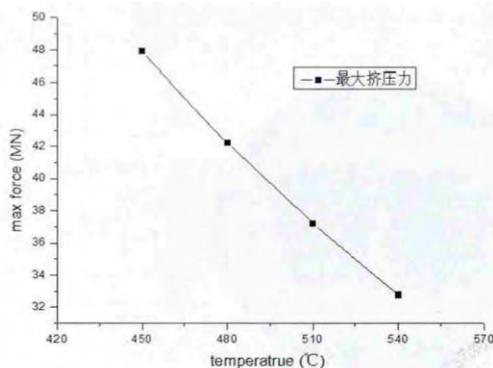


图3 不同铝棒温度下最大挤压力的变化曲线

### 5.1.3 静水压力

焊合室内焊合线区域的静水压力变化与挤压力变化曲线一致(如图4),都随着温度的升高而逐渐降低。静水压力的降低不利于改善焊合线条纹缺陷,较低的铝棒温度虽能获得较大的静水压力因此,需采用焊合室内焊合线区域的平均静水压力与此时该区域的金属屈服强度之比值作为评估的标准。

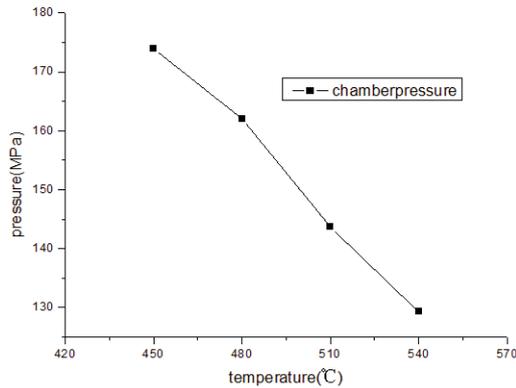


图4 不同铝棒温度下焊合室焊合区域的静水压力变化曲线

不同铝棒温度下焊合室内焊合线区域静水压力与金属屈服强度比值变化曲线。铝棒温度较低(450 )时,金属屈服强度较大,虽然此时焊合线区域的静水压力最大,但两者的比值却较小。铝棒加热温度越高,两者的比值越大,越有利于焊合线的改善。但铝棒温度较高(540 )时,挤压过程中易于形成挤压条纹,影响型材表面光洁性。因此,铝棒加热温度控制在480~510 范围内较理想。

### 5.2 不同挤压速度

#### 5.2.1 温度差

图5为不同挤压速度下焊合线区域与正常基体处的温度差。挤压速度较小(2 mm/sec)时,两者的温度差值最小。



图5 不同挤压速度下焊合线区域与正常基体处的温度差别

#### 5.2.2 应力 - 应变

图6与图2所示铝棒加热温度为540 时焊合室内金属的等效应变云图一致,挤压速度为4mm/sec时,焊合室内与分流桥对应的焊合线处的金属等效应变较其它部位更大。不同挤压速度下两者差的变化可知,挤压速度较低(2mm/sec)时,两者的应变差异最大。挤压速度在2.5~3.5mm/sec 范围内时,两者差异相对较小。

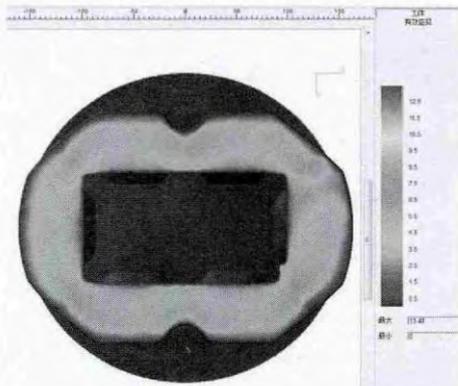


图6 挤压速度为4mm/sec时焊合室内金属的等效应变云图

### 5.2.3 挤压力

铝棒加热温度相同的情况下,挤压速度越大所需挤压力越大。此时,铝合金型材表面焊合线越不明显。但过快的挤压速度将导致金属在焊合室内焊合的时间减小,不利于焊合线的改善。因此,需综合考虑挤压速度对焊合线的影响。

### 5.2.4 静水压力

图7为不同挤压速度下焊合线区域静水压力与金属屈服强度的比值。相同的铝棒加热温度(510 )下,挤压速度越快,两者的比值越大。如上所述,过快的挤压速度不利于焊合线的改善。因此,挤压速度宜控制在2-3mm/sec 范围内。

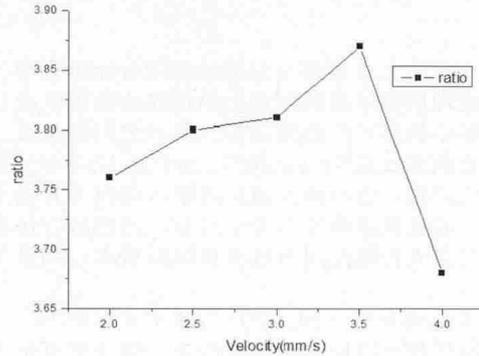


图7 不同挤压速度下焊合线区域静水压力与金属屈服强度比值

### 6 结语

(1) 相同挤压速度(3mm/sec)下,铝棒温度较低(450 )时,焊合线区域与正常基体处的温度差最大,随着铝棒温度的升高,两者的温差相对较小。铝棒加热温度越低,所需挤压力越大。与此同时,焊合室内的静水压力也将越大。因此,采用焊合室内焊合线区域的静水压力与金属的屈服强度的比值作为评估的标准。根据不同铝棒加热温度下,焊合室内焊合线区域的静水压力与金属屈服强度的比值变化情况,确定铝棒加热温度宜控制在480~510 范围内。

(2) 相同挤压温度(510 )下,挤压速度为2mm/sec时,焊合线区域与正常基体处的温度差最小;随着挤压速度的增加,挤压型材所需挤压力越大,焊合室内焊合线区域的静水压力也随之增大,将有利于焊合线的改善。但较大的挤压速度将导致金属在焊合室焊合的时间缩短,容易产生焊合线缺陷。因此,应综合考虑挤压速度。根据不同挤压速度下,焊合室内焊合线区域的静水压力与金属屈服强度的比值变化情况,挤压速度控制在2~3mm/sec 范围内较合适。

### 参考文献:

- [1] 王祝堂,田荣璋. 铝合金及其加工手册[M]. 长沙:中南大学出版社,1989.10.
- [2] 李科,甘卫平,陈铁平,杨伏良. 热处理工艺对6063铝合金组织和力学性能的影响[J]. 铝加工,2005,2(161).
- [3] 孙瑜,黄继武,赵毅,黄志其. 均匀化处理对6063铝合金微观组织结构的影响[J]. 热加工工艺,2012,41(02):187-191.
- [4] 马润香,刘怀喜,王杰芳,翁永刚,宋天福. 6063合金微观组织及力学性能研究[J]. 郑州大学学报(理工版),2005,37(4).
- [5] 张洪武,单广铭. 6063铝合金型材组织条纹缺陷的攻关小结[A]. 第三届广东铝加工技术(国际)研讨会论文集[C].2012,熔铸与加工专题,36-138.
- [6] 陈景春. 铝型材挤压焊合线条纹的生产控制[D]. 沈阳:东北大学,2006.
- [7] 蒋焱,陈国学等. 空心铝型材挤压过程计算机仿真系统[J]. 塑性工程学报.2005,12(2):73-77.

作者简介:万达(1983-),男,助理工程师,工程硕士在读,研究方向:数值模拟仿真优化。