

文章编号:1673-9981(2015)04-0256-05

基于正交试验的 6061 铝合金热挤压粘附行为研究*

赵亚永^{1,3}, 张彦敏^{1,2,3}, 宋克兴^{1,2,3}, 赵培峰^{1,2,3}

1. 河南科技大学 材料科学与工程学院, 河南 洛阳 471023; 2. 有色金属共性技术河南省协同创新中心, 河南 洛阳 471023;
3. 河南省有色金属材料科学与工程重点实验室, 河南 洛阳 471023

摘 要:通过正交试验研究了 6061 铝合金热挤压成形过程中挤压温度、挤压速率和模具表面粗糙度对 4Cr5MoSiV1 热作模具钢凸模表面铝粘附转移量和脱模力的影响,各因素的影响顺序为:挤压温度>挤压速率>模具表面粗糙度;对凸模表面粘铝组织微观形貌及成分能谱分析表明,在模具表面形成不均匀分布的层状粘铝组织,并包覆在模具表面,这对挤压件表面质量和模具寿命会产生不良影响,需要及时清理。

关键词:6061 铝合金;4Cr5MoSiV1 模具钢;正交试验;热挤压;粘附行为

中图分类号:TG306

文献标识码:A

6061 铝合金属于 Al-Mg-Si 系合金,具有中等强度、密度低、良好的塑性和耐蚀性等特点,广泛用于电子家电、汽车工业、高速列车、航空航天等方面^[1-2]。在铝合金热挤压成形过程中,由于铝合金熔点低、屈服强度低及在高温高压作用下接触时间长、接触表面状态不断发生变化等原因,接触面的合金元素会相互扩散,尤其铝合金不断发生转移并粘附到挤压模具表面,在模具表面出现粘铝层,使得铝锭坯与模具异种金属之间的滑动摩擦变为铝锭坯与模具表面粘铝层同种金属内部的剪切变形,导致摩擦力增大,加剧挤压模具表面粘铝。当模具表面粘铝层脱落并回粘到制件表面时,在模具表面形成“粘疤”,严重时造成挤压制件成为废品或挤压模具发生磨损失效^[3-7]。邓小民^[8-9]研究了挤压铝合金管材时铝合金锭坯与挤压模具接触面的摩擦性质。姚若浩^[10]认为金属粘附与压力加工工具的基体材质、表面光洁度及表面磨削方向等因素有关。

正交试验设计法是统计数学的重要分支,它是减少试验次数、缩短试验周期、迅速找到优化方案的

一种科学的方法,在科学研究和产品设计过程中有着非常广泛的应用^[11-12]。本文以热挤压铝合金制件时使用的代表性模具材料 4Cr5MoSiV1 热作模具钢和 6061 铝合金为研究对象,通过正交试验研究热挤压过程中挤压温度、挤压速率和模具表面粗糙度(砂纸粒度)对铝合金粘附转移量和脱模力大小的影响,为铝合金热挤压成形工艺参数设计、提高制件表面质量和模具使用寿命提供参考。

1 试验部分

1.1 试验材料

试验材料为 6061 铝合金和 4Cr5MoSiV1 模具钢。4Cr5MoSiV1 热作模具钢凸模试样如图 1 所示。6061 铝合金试样尺寸为 $\Phi 20\text{ mm} \times 15\text{ mm}$,由挤压态棒料通过车床加工制备,并进行 1050 °C 淬火+570 °C 二次回火处理。

1.2 试验方法

试验前先用金相砂纸对凸模试样工作表面进行

收稿日期:2015-11-05

* 基金项目:河南省科技厅科技攻关项目(132102210122);河南省杰出人才项目(134200510011);河南省高校科技创新团队(14IRTSTHN007)

作者简介:赵亚永(1991-),男,河南周口人,硕士研究生。

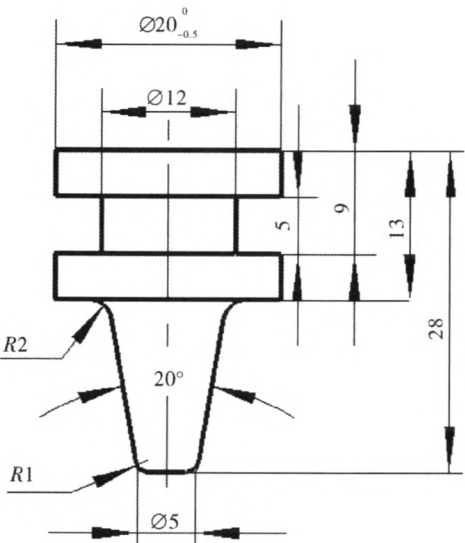


图 1 4Cr5MoSiV1 模具钢凸模试样
Fig.1 4Cr5MoSiV1 die steel punch sample

磨削,然后对凸模试样和铝合金试样进行超声波清洗,并烘干。用测量精度 0.1 mg 的电子分析天平对烘干后的试样进行称重,每个凸模试样重复称重 3 次,取其平均值,记录并计算试验前后凸模试样的质量差。

试验具体步骤:将自行设计的卡具安装在电子拉伸试验机上,卡具如图 2 所示,然后将铝合金试样和热作模具钢凸模试样置于挤压模具内,挤压模具如图 3 所示,再将挤压模具置于卡具上,通过电子拉伸试验机的操作面板控制电阻加热炉加热温度和铝合金试样压下量。通过电子拉伸试验机的电阻加热炉进行加热,当加热炉内的温度上升到设定温度时,保温 5 min,使试样温度均匀,然后进行热挤压试验,待凸模运动到一定压下量后,保压 5 min,最后打开炉膛,取出挤压模具。利用图 4 所示的脱模装置进行挤压件脱模并测出脱模力。

采用 JSM-5610LV 扫描电子显微镜对超声波清洗后的热作模具钢凸模试样表面的粘铝组织进行微观形貌观察,并进行成分能谱分析。

1.3 正交表设计

热挤压铝合金过程中影响粘铝的主要因素有挤压温度、挤压速率和模具表面粗糙度,共 3 个因素,每个因素选择 3 个水平,制成表 1 所示的因素水平表。

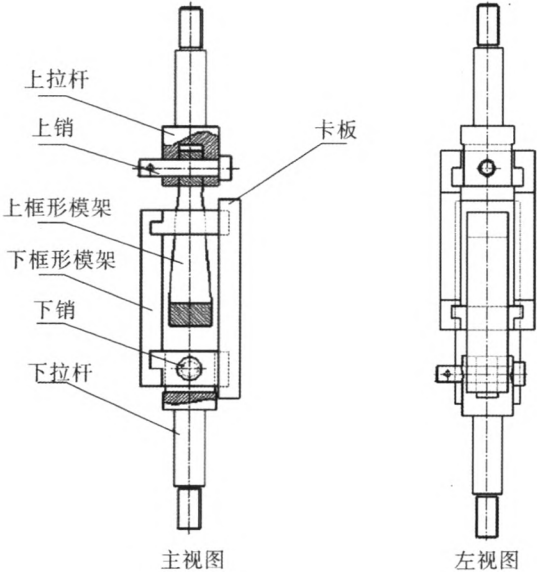


图 2 卡具结构示意图
Fig.2 Schematic diagram of fixture

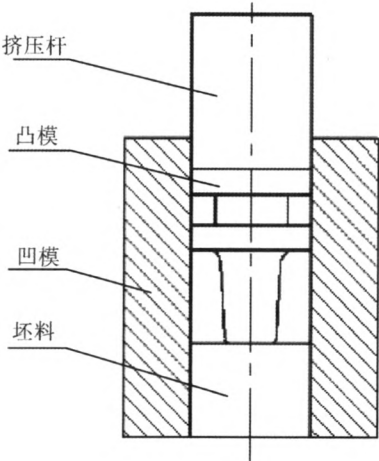


图 3 挤压模具示意图
Fig.3 Schematic diagram of extrusion die

表 1 正交因素水平表
Table 1 Orthogonal factor level table

试验因素	挤压温度 $t/^{\circ}\text{C}$	挤压速率 $v/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	模具表面粗糙度 (砂纸粒度)/mm
水平 1	400	1	180
水平 2	450	5	320
水平 3	500	10	400

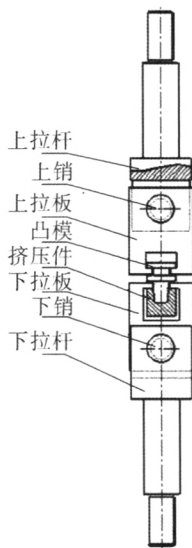


图 4 脱模装置示意图

Fig.4 Schematic diagram of ejection device

2 试验结果与分析

2.1 正交试验结果

按照表 1 正交试验因素及水平因子,选用 3 因素 3 水平的 $L_9(3^4)$ 正交表,共进行 9 次试验,试验方案及试验结果列于表 2。

2.2 极差分析

用极差法分析了不同因子对热挤压铝合金过程中铝转移量和脱模力的影响,详见表 2。由表 2 极差 R 值可看出:(1)各因素对铝转移量影响程度的主次顺序为:挤压温度>挤压速率>模具表面粗糙度(砂纸粒度),各因素的最优水平为挤压温度 450℃、挤压速率 10 mm/min、0.045mm 砂纸(320 目)。在此条件下,凸模表面铝粘附量最小。

表 2 正交试验方案及结果

Table 2 The experimental plan and result of orthogonal test

试验号	影响因素			试验指标	
	挤压温度 $t/^\circ\text{C}$	挤压速率 $v/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	模具表面粗糙度 (砂纸粒度)/mm	铝转移量/mg	脱模力/kN
1	400	1	0.080	5.16	4.66
2	400	5	0.038	5.93	4.61
3	400	10	0.045	5.17	4.26
4	450	1	0.038	4.53	3.67
5	450	5	0.045	4.40	4.87
6	450	10	0.080	4.27	3.92
7	500	1	0.045	6.36	4.77
8	500	5	0.080	6.23	5.07
9	500	10	0.038	6.06	4.66
铝转移量	k_1	5.42	5.35	5.22	
	k_2	4.20	5.52	5.21	
	k_3	6.22	5.17	5.51	
	极差 R	2.02	0.35	0.30	
脱模力	k_1	4.51	4.37	4.88	
	k_2	4.15	4.85	4.63	
	k_3	4.83	4.28	4.31	
	极差 R	0.68	0.57	0.28	

(2)各因素对脱模力大小影响程度的主次顺序为:挤压温度>挤压速率>模具表面粗糙度(砂纸粒度),各因素的最优水平为挤压温度 450 ℃、挤压速率 10 mm/min、0.038mm 砂纸(400 目)。在此条件下,铝合金热挤压件脱模时所需的脱模力最小。

2.3 凸模表面粘铝组织观察与能谱分析

4Cr5MoSiV1 热作模具钢凸模试样经 0.038 mm(400 目)金相砂纸磨削,在挤压温度 450 ℃和挤压速率 1 mm/min 的条件下,凸模试样表面粘铝组

织的电子扫描照片及微区成分能谱如图 5 所示。从图 5 可看出:A 区域的 Fe 元素含量较高,说明此区域为凸模基体组织,同时 A 区域还有少量 Al 元素存在,说明铝合金热挤压时,高温高压作用下的铝合金发生了原子扩散,Al 元素转移到凸模试样表面。B 区域有明显的层状粘附组织,通过能谱分析可知 B 区域 Al 元素含量较高,而 Fe 元素含量几乎没有,说明此区域层状粘附组织为粘铝层,并覆盖在凸模基体组织表面。

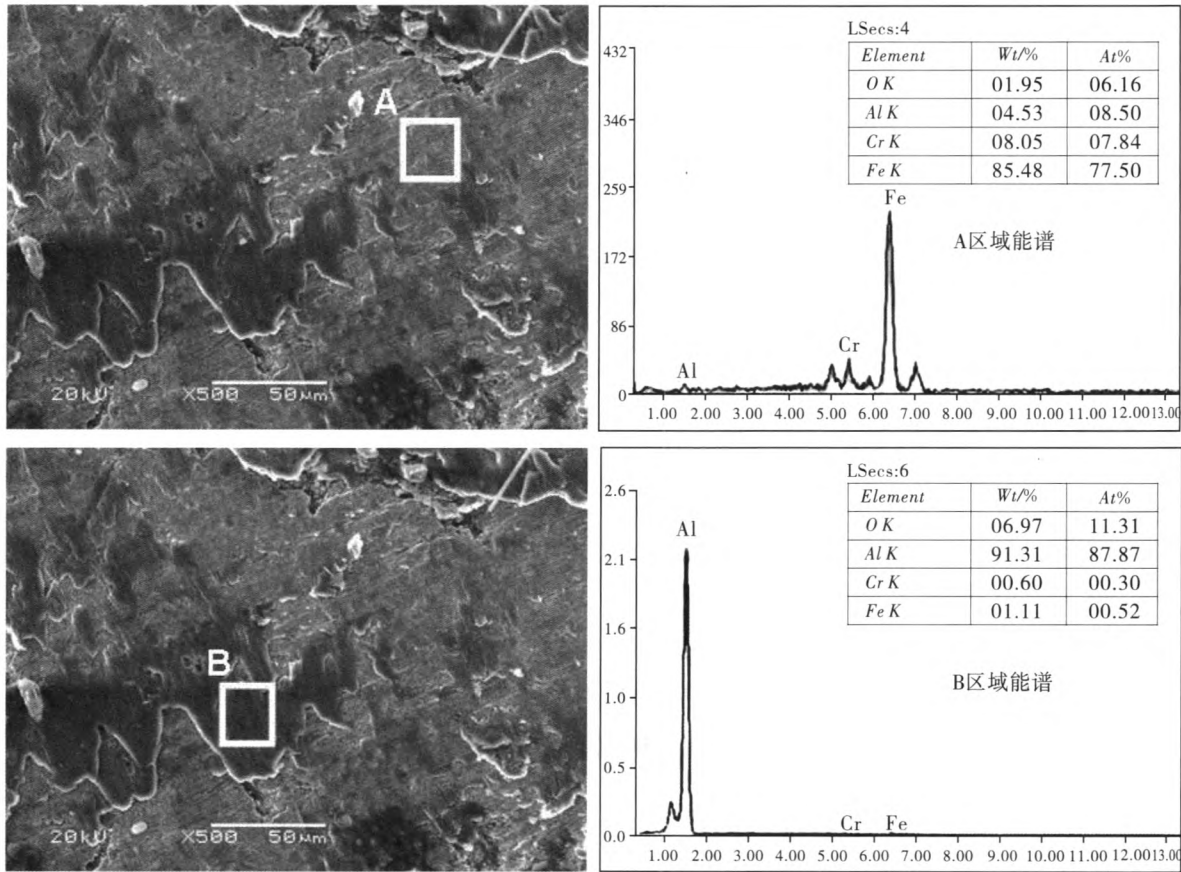


图 5 4Cr5MoSiV1 模具钢凸模试样表面粘铝组织的扫描照片及能谱分析

Fig.5 The scanning electron microscope pictures and elements energy spectrum analysis of the surface aluminum pick up structure on the 4Cr5MoSiV1 punch specimen

铝合金热挤压成形过程中,原子扩散作用使铝合金不断转移到挤压模具表面,从而改变挤压模具与铝坯接触表面的接触状态及摩擦性质。热挤压时铝合金表面存在较大的摩擦力和剧烈的冷热交换,从而造成铝合金表面的氧化膜迅速发生破裂,内层的新鲜金属裸露出来,接触表面铝与铁的滑动摩擦逐步转化为铝合金同种金属之间的摩擦,在模

具表面很快形成铝粘附层^[9,13]。如果不及时清理模具表面的铝粘附层,随着挤压过程的进行,转移到模具表面的粘铝就会越来越多,接触表面异种金属之间的摩擦完全转化为铝合金锭坯内摩擦,进而加剧粘附,形成一层粘铝层包覆在模具表面,使挤压不能正常进行。凸模垫块表面的铝粘附层如图 6 所示。



图6 热挤压铝合金时凸模垫块表面的铝粘附层

Fig.6 The aluminum adhesive layer of the bump block surface during hot extrusion aluminum alloy

3 结 论

各因素对铝转移量和脱模力影响的顺序为:挤压温度>挤压速率>模具表面粗糙度。铝合金热挤压过程中,在模具表面会形成不均匀分布的层状粘铝组织,并包覆在模具表面,对挤压件表面质量和模具寿命会产生不良影响,需要及时清理。

参考文献:

[1] 刘静安. 汽车工业用铝材的开发应用趋势与对策(1)[J]. 铝加工, 2002, 25(5): 1-6.

[2] 许珞萍,邵光杰,李麟,等. 汽车轻量化用金属材料及其发展动态[J]. 上海金属, 2002, 24(3): 1-6.
[3] 姚若浩. 金属压力加工中的摩擦与润滑[M]. 北京:冶金工业出版社,1990.
[4] 姚若浩. 铝材加工中的粘铝问题[J]. 上海有色金属, 1980(6): 22-29.
[5] 夏延秋,丁津原,马先贵,等. 可聚合添加剂对 Al2024 合金磨损性能的影响[J]. 摩擦学学报, 1999, 19(3): 224-228.
[6] GALI O A, SHAFIEI M, HUNTER J A, et al. The tribological behavior of PVD coated work roll surfaces during rolling of aluminum[J]. Surface & Coatings Technology, 2014, 260: 230-238.
[7] 李虎兴. 压力加工过程的摩擦与润滑[M]. 北京:冶金工业出版社,1993.
[8] 邓小民. 铝合金管材挤压过程中穿针孔粘铝的机制分析[J]. 轻合金加工技术, 2000, 28(9): 30-32.
[9] 邓小民,孙中建,李胜祗,等. 铝合金挤压时的摩擦与摩擦因数[J]. 中国有色金属学报, 2003, 13(3): 599-605.
[10] 姚若浩. 压力加工工具的材质及表面处理对金属粘结的影响[J]. 上海金属, 1985, 6(2): 1-6.
[11] 张成军. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2009.
[12] 徐仲安,王天保,李常英,等. 正交试验设计法简介[J]. 科技情报开发与经济, 2002, 12(5): 48-50.
[13] 辛丽,李美栓,钱余海,等. 氧化铝膜的破裂行为[J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(3): 326-329.

Study on the adhesion behavior of hot-extruded aluminum alloy based on orthogonal experiment

ZHAO Yayong^{1,3}, ZHANG Yanmin^{1,2,3}, SONG Kexing^{1,2,3}, ZHAO Peifeng^{1,2,3}

1. School of Materials Science and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China; 2. Henan Collaborative Innovation Center of Non-ferrous Metal Generic Technology, Luoyang 471023, China; 3. Henan Key Laboratory of Advanced Non-Ferrous Metals, Luoyang 471023, China

Abstract: Based on the orthogonal experiment, the influence of extrusion temperature, extrusion rate and surface roughness of the aluminum adhesion transfer mass and ejection force on the surface of 4Cr5MoSiV1 die during hot extrusion were studied. It was found that the primary and secondary sequence affecting aluminum adhesion transfer mass and ejection force are: extrusion temperature > extrusion velocity > die surface roughness. The test results were analyzed by the aluminum adhesion microstructure and energy dispersive microanalysis, and it is indicated that there is a uneven distribution layer of aluminum structure and coated on the surface of the die, which has a negative effect on the surface quality and die life of the extrusion parts, and need to clean up in time.

Key words: 6061 aluminum alloy; 4Cr5MoSiV1 die steel; orthogonal test; hot extrusion; adhesion behavior