

半固态 7075 铝合金径向挤压过程分析

林方成 刘洪军 韩 龙

(兰州理工大学省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室)

摘 要 采用数值模拟和组织分析的方法研究了再结晶重熔法制备的半固态 7075 铝合金的径向挤压过程,分析了成形过程中径向流动速度场、挤出试样中应力场及行程分布载荷,并对挤出试样不同部位的组织进行了观察。结果表明,径向挤压过程中半固态金属优先充填大截面径向型腔,最大应力集中区由径向流动转折处逐渐向周围扩展,径向流动及应力集中的结果造成流动转折处组织中固相颗粒拉长现象严重。

关键词 7075 铝合金;半固态挤压;径向流动;数值模拟

中图分类号 TG146.21;TG249.2⁺6

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2018.05.006

Analysis of Lateral Extrusion Process of Semi-solid 7075 Aluminum Alloy

Lin Fangcheng, Liu Hongjun, Han Long

(State Key Laboratory of Advanced Processing and Recycling of Non-ferrous Metals,

Lanzhou University of Technology)

Abstract: The lateral extrusion process of semi-solid 7075 aluminum alloy prepared by recrystallization and partial remelting method was investigated by numerical simulation and microstructure analysis. The velocity field of lateral flow, stress field in extrusion sample and the load-stroke curve in the extrusion process were analyzed. Meanwhile, the microstructure at different position of sample after extrusion was also observed. The results show that the semi-solid metal preferentially fills into the cavity with the bigger cross section in the lateral extrusion process, and the maximum stress concentration zone is gradually extended from turning zones of flow direction forward surrounding region. The lateral extrusion and stress concentration lead to the serious elongated grains in the microstructure of turning zones of flow direction.

Key Words: 7075 Aluminum Alloy, Semi-solid Extrusion, Lateral Flow, Numerical Simulation

半固态挤压成形能近净成形一些形状复杂的零件,在军工、机械、汽车、航天航空等行业都有较大的应用潜力^[1,2]。研究者对半固态挤压工艺中半固态金属浆料的制备、触变成形过程及组织演变等进行了大量研究,借助数值模拟技术,分析了半固态挤压过程中的速度场、应力场、温度场、行程载荷等,并据此优化了相关工艺参数^[3~6]。目前的研究大多集中在正挤压和反挤压成形工艺,而关于径向挤压对金属液流动和组织影响的相关研究报道较少,因此,有必要对半固态金属径向挤压过程作进一步研究。

7075 铝合金是常见的高强铝合金之一,其适用于半固态挤压成形^[7,8]。采用 DEFORM-3D 软件对半固态 7075 铝合金径向挤压过程进行了数值模拟,并对再结晶重熔法制备的半固态 7075 合金试样挤压后的组织进行了分析,以期为其挤压成形工艺的控制和零件质量

的提高提供参考。

1 试验方法与数值模拟条件

采用再结晶重熔(Recrystallization and Partial Remelting, RAP)法制备半固态 7075 铝合金坯料。半固态坯料和径向挤压试样见图 1。在 $\phi 60$ mm 的挤压态 7075 铝合金棒料中沿挤压方向线切割出 $\phi 15$ mm \times 19 mm 的圆柱状试样(见图 1a),在 590 °C 电阻炉中保温 10 min 后可获得组织均匀性较好的半固态坯料^[9]。挤压模具温度为 290 °C,挤压速度为 20 mm/s。挤压模具中设置了两个径向型腔,其截面尺寸分别为 8 mm \times 10 mm 和 4 mm \times 10 mm,坯料经径向挤压后得到试样见图 1b。从其中心剖面取 $P_1 \sim P_5$ 等 5 个特征点进行挤出流动分析和组织分析,见图 1c。挤压试样

收稿日期:2018-01-17;修改稿收到日期:2018-01-28

基金项目:甘肃省自然科学基金资助项目(145RJZA082)

第一作者简介:林方成,男,1997 年出生,本科生,兰州理工大学省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室,兰州(730050),电话:18393100430, E-mail:3066975867@qq.com

通信作者:刘洪军,男,1974 年出生,教授,兰州理工大学省部共建有色金属先进加工与再利用国家重点实验室,兰州(730050),电话:0931-2973563, E-mail:hongjun_liu@hotmail.com

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net 487

制备过程:装配好挤压模具,挤压合模,开启模具加热棒,将模具加热到 290 °C 后,开模,将半固态坯料迅速放入凹模中,进行挤压并保压 5~10 s 后开模,取出试样空冷。

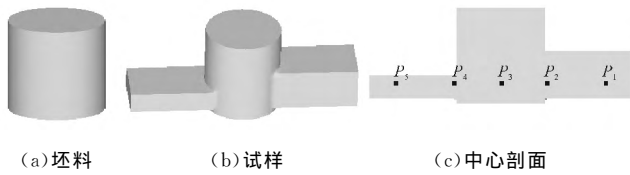


图1 半固态坯料和径向挤压试样

按坯料和试样尺寸建模,在 DEFORM-3D 软件的前处理过程中导入有限元模型,采用刚-粘塑性有限元模型,模具设为刚性体,坯料为塑性体。设定成形模拟在非恒温的条件下进行,模具温度为 290 °C,坯料温度为 590 °C。选用塑性剪切摩擦模型,设置坯料与压头及模具之间的摩擦因数为 0.4,下压速度为 20 mm/s。以图 1c 的中心剖面观察径向挤压过程中速度场、应力场,并计算挤压行程载荷。

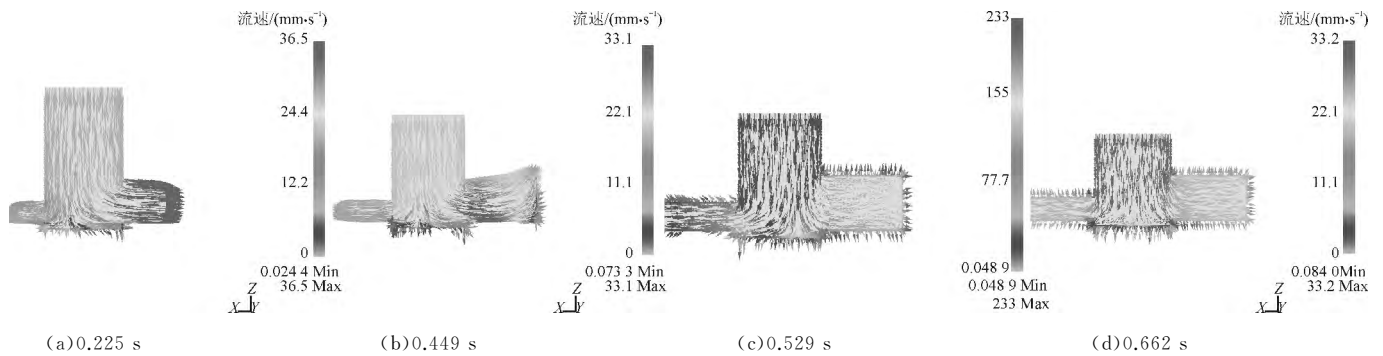


图2 径向挤压过程中 7075 铝合金半固态流动速度场

阻碍,速度较慢甚至造成充型不良。随着挤压的进一步进行,两个型腔内金属流动变得愈加困难。

图 3 为 $P_1 \sim P_5$ 特征点的流动情况。可以看出,挤压刚开始时,各点流动速度迅速上升。 P_1 点在 0.16 s 后金属液进入径向型腔,达到最高的速度,并保持一定的充填速度直到 0.43 s,此时半固态金属基本充满型腔, P_1 点流动速度迅速下降, P_2 点速度逐渐上升,在流动方向转折区附近时速度达到最高,而后迅速下降,并与 P_1 点几乎同时停止流动,表明该型腔充填完成; P_5 点在 0.44 s 通过转折区后速度迅速上升,由于速度最高可达 76 mm/s,高度为 4 mm 的型腔很迅速充满,在 P_4

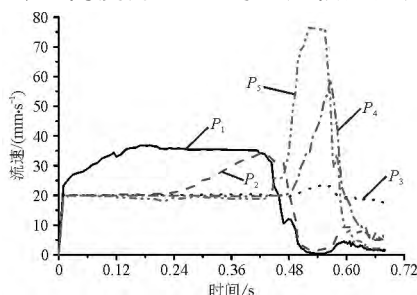


图3 各特征点在挤压过程中流动速度的变化

2 径向挤压过程数值模拟分析

2.1 径向挤压过程中半固态金属流动分析

图 2 为径向挤压时 7075 铝合金半固态流动过程。可以看出,随着凸模下压,坯料开始被挤入凹模型腔内进行径向流动,截面积较大的型腔流动阻力较小,半固态浆料在高度为 8 mm 的径向型腔中流动速度较快,在高度为 4 mm 的径向型腔中流动速度较慢,在 0.449 s 时大截面型腔基本充满,而小截面型腔还在充填中。坯料先填充阻力较小的大截面型腔,待大截面型腔基本充满后,未充满的部分金属充型速度加快,大量金属流向小截面型腔,充型压力逐渐增大,最终使得两个径向型腔内金属的流动速度趋于一致,并完成最后部分型腔的充填。坯料中不同部分的流动速度存在不均匀的情况,坯料上部和型腔内自由表面的流动速度较大,坯料下部流动速度较慢。由于摩擦较大,以及受到型腔的冷却作用,导致坯料与模具接触的部分半固态金属流动受到

点速度迅速上升并与 P_5 点速度同时停止流动时,该型腔也填充完毕; P_3 点的流动速度在填充过程中几乎保持不变,随着凸模的下降逐渐到达最终零件的位置。由于两个径向型腔填充完毕后,半固态浆料在挤压力作用下还有补缩、致密化和晶粒形变的过程,因此, P_3 点在径向型腔填充完毕后还具有一定的流动性。

2.2 径向挤压过程中行程载荷分析

图 4 为挤压过程中载荷-行程曲线。可以看出,挤压过程中随着坯料变形程度的增加,挤压载荷也随之逐渐增加,并在最终成形阶段达到最大。挤压初期,挤压力迅速增大,随后挤压力开始平稳增加,此时坯料开始进入 2 个径向型腔,由于受到型腔壁摩擦、进入型腔时的坯料变形以及固相颗粒间液相凝固等影响,凸模运动所需的挤压力逐渐增大。当高度为 8 mm 的径向型腔内的金属接触到型腔端壁时,挤压力迅速增大,这是由于端壁的阻碍以及液相激冷快速凝固,造成金属流动困难^[10]。随后坯料的流动由向两个型腔双向流动变为以向高度为 4 mm 型腔为主的单向流动,此时坯料变形阻

力进一步增加,凝固的液相更多,半固态浆料流动阻力迅速增大,造成挤压力进一步增大。当凹模型腔快要被充满时,挤压力迅速达到最大值并发生波动,此时金属完全充满型腔。

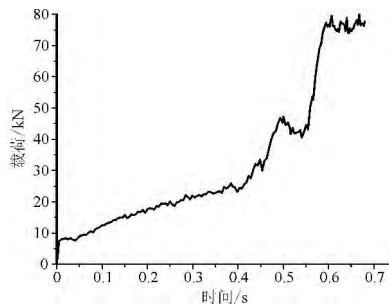


图4 挤压过程载荷-行程曲线

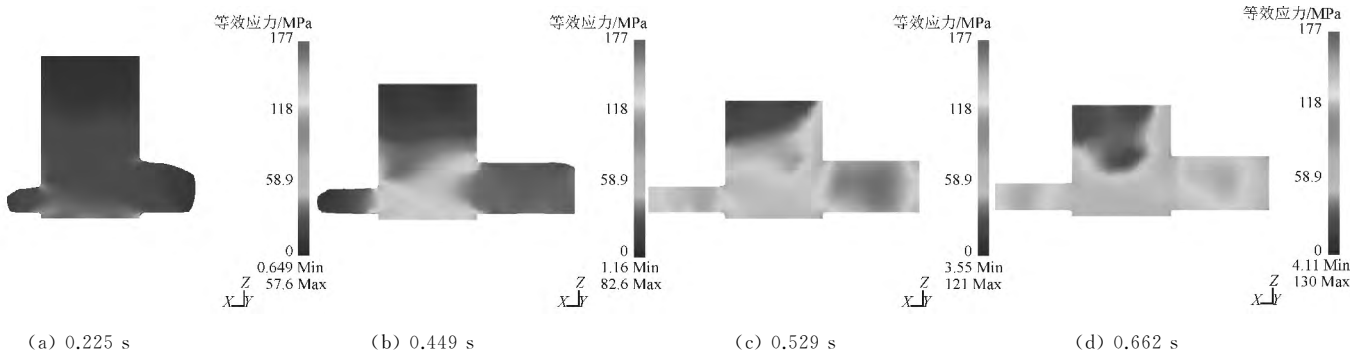


图5 挤压过程中坯料内等效应力场的变化

型腔下部的大部分变形区域中。在挤压的最后阶段(0.662 s),由于金属受摩擦力及流动空间的阻碍,型腔内金属应力迅速增大,其最大应力集中于坯料与模具边界接触的部位。

3 径向挤压后试样的组织分析

图6为原始坯料和 $P_1 \sim P_5$ 部位的金相组织。可以看出,原始坯料经过径向挤压后,在应力和金属坯料流动的共同作用下,坯料流动方向转折区域的侧方型腔入口位置(P_2 和 P_4)的组织中晶粒被拉长细化,其他部分的组织基本保持半固态组织,固相颗粒较圆整。当金属液充填 P_2 和 P_4 部位时,这时整个型腔已基本填充完毕,但径向型腔内由于边角效应和补缩原因,还需要少量的填充,这时坯料温度下降明显,坯料流动性较差,受到周围坯料和型腔壁的阻碍,当接近固相的颗粒受到的

2.3 径向挤压过程坯料中有效应力场分析

图5为7075铝合金半固态径向挤压过程中有效应力场的数值模拟。可以看出,随着挤压进行,半固态坯料中有效应力呈现整体增大的趋势,应力主要集中在坯料变形区,特别是流动方向转折区,型腔被充满后,型腔内与腔壁相接触的部分也存在明显的应力集中。随着凸模下移,坯料流动变形的阻力增加,挤出力逐渐加大,应力由挤压开始时(0.225 s)在径向流动拐角和型腔底部处集中,逐渐向流动方向转折区附近的坯料中扩展,此时(0.449 s)的应力集中区反映出坯料变形剧烈的区域。随着型腔基本被填满时(0.529 s),挤压力迅速增大,坯料内应力也迅速增加,应力集中区几乎扩展到

应力大于其屈服强度时,固相颗粒沿流动方向变形以完成向型腔内的充填流动,从而造成固相颗粒的拉长变形。 P_4 部位晶粒拉长变形程度要大于 P_2 部位,这是由于 P_4 所在的小截面型腔入口处应力集中要高于 P_2 所在的大截面型腔入口处,且特征点附近的变形剧烈和应力集中区更早形成,所以组织变形程度更严重。 P_1 和 P_5 部位的组织仍然保持半固态组织特征,固相颗粒略有拉长但还是较为圆整的近球状形貌,表明受到挤压变形的影响较小。虽然 P_1 和 P_5 部位的坯料充填径向型腔时也通过了流动方向转折区,但是流动方向转折时,径向型腔还未充满(见图2a),坯料中应力较小(见图5a),固相颗粒间还存在较多的液相,在径向型腔内流动过程中,固相颗粒几乎都是平移流动到最终位置的,虽然坯料中应力迅速上升,但是固相颗粒受到各方向的应力几乎相等,颗粒的整体变形很小,仍保持半固态组织形貌。 P_3 部位最后充型,受到周围组织的均匀挤压作

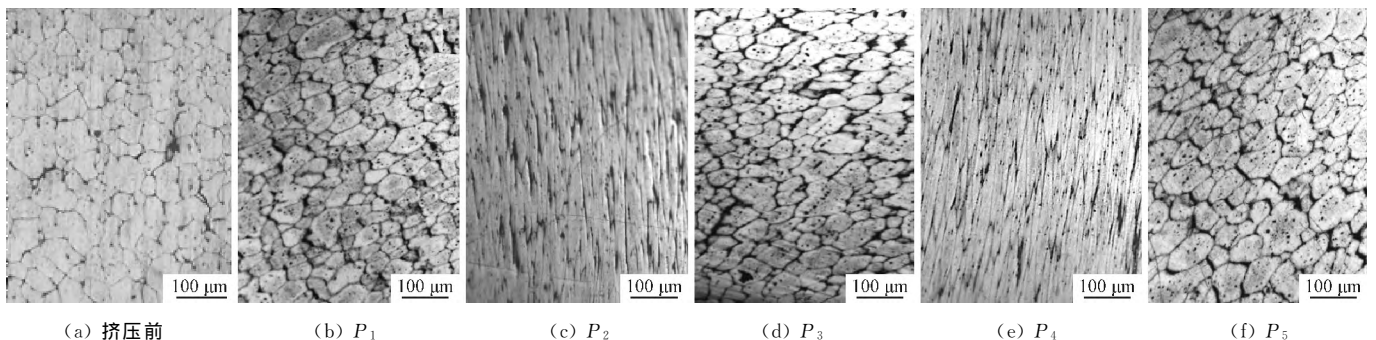


图6 径向挤压前后试样各部位的微观组织

基于 Excel VBA 的压铸模具浇注系统开发及实现

王引卫¹ 周美丽² 林 东³ 刘守法¹

(1.西京学院机械工程学院;2.延安大学物理与电子信息学院;3.西京学院科研处)

摘要 针对压铸模具开发周期长、浇注系统设计复杂的问题,提出了基于 Excel VBA 的压铸模具浇注系统高效开发系统。系统集成模具经验设计公式、常用压铸材料参数、压铸机参数和 $p-Q^2$ 图、常见给料设计方案、常见浇口设计和流道设计参数。利用该系统对某型号 PDA 外壳浇注系统进行了设计,可高效调用系统中已集成的各类参数,从而完成浇注系统开发,有效避免传统经验法和试错法在模具设计中的不足。

关键词 压铸模具;浇注系统;浇口设计;给料系统

中图分类号 TG249.2

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2018.05.007

High Efficiency Development and Realization of Gating System for Die Cast Mould based on Excel VBA

Wang Yinwei¹, Zhou Meili², Lin Dong³, Liu Shoufa¹

(1. School of Mechanical Engineering, Xijing University; 2. College of Physics and Electronic Information, Yan'an University; 3. Division of Scientific Research, Xijing University)

Abstract: Aiming at the long development cycle of die casting die and the complicated design of the gating system, a high efficient development system for gating system of die cast die based on the Excel VBA was put forward. The system includes mold experience design formula, commonly used die casting material parameters, die casting machine parameters and $p-Q^2$ diagram, common feeding design plan, common gate design and runner design parameters. Gating system of a PDA shell was designed by the developed system, in which the integrated parameters can be invoked efficiently to complete the development of the gating system, and finally avoid effectively the negative effects of traditional experience and trial and error method on the innovation of die design industry.

Key Words: Die Casting Die, Gating System, Gate Design, Feeding System

收稿日期:2018-01-10;修改稿收到日期:2018-02-12

基金项目:陕西省教育厅专项科研计划资助项目(15JK2172);国家科技重大专项资助项目(2017ZX04011010)

第一作者简介:王引卫,男,1974年出生,副教授,西京学院机械工程学院,西安(710100),电话:029-61865505, E-mail:445949141@qq.com

通信作者:刘守法,男,1980年出生,副教授,西京学院机械工程学院,西安(710100),电话:15029274518, E-mail:304279656@qq.com

用,因此组织也没有明显被拉长。

4 结 论

半固态坯料在径向挤压时先充填大截面的径向型腔,在流入径向型腔后流动速度变大,迅速填充型腔;径向型腔填充基本完成后坯料中应力迅速上升,应力集中区由径向型腔入口附近向周围扩展。应力集中和坯料流动的共同作用导致径向型腔入口附近固相颗粒被明显拉长。应力集中大、充填时间迟的小截面径向型腔的组织变形更为严重。

参 考 文 献

- [1] LEVAILLANT C, SUERY M. The semi-solid processing of alloys and composites[J]. JOM, 1990, 42(12): 26-26.
- [2] 王开坤. 铝镁合金半固态成形理论与工艺技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2011.
- [3] 杜之明,陈刚,程远胜,等. 半固态反挤压 A357 铝合金的力学性能

及其密度的不均匀性[J]. 中国有色金属学报, 2011, 21(10): 2 285-2 293.

- [4] 何毅,杨湘杰,方立高. A356 合金半固态挤压铸造数值模拟及模具优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37(2): 160-162.
- [5] 王姣姣,路贵民,尚淑珍,等. 6063 铝合金半固态反挤压数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金, 2010, 30(8): 714-717, 681.
- [6] TAO J Q, WAN Y Y, SUN C J, et al. Microstructure evolution of an Mg-Zn-Nd-Zr magnesium alloy during recrystallization and partial remelting process[J]. China Foundry, 2013, 10(4): 244-247.
- [7] NEAG A, FAVIER V, BIGOT R, et al. Microstructure and flow behaviour during backward extrusion of semi-solid 7075 aluminium alloy[J]. Journal of Materials Processing Tech., 2012, 212(7): 1 472-1 480.
- [8] 张靖宇. 半固态挤压 7075 铝合金的组织均匀性及三维组织分析[D]. 兰州:兰州理工大学, 2016.
- [9] 张靖宇,刘洪军. 挤压态 7075 铝合金半固态加热过程中的组织演变[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(7): 717-721.
- [10] 李志龙,刘允中,游江. 半固态 7050 铝合金材料的触变力学模型[J]. 中国有色金属学报, 2014, 24(2): 371-379.

(编辑:刘晨辉)