

T6 态 7075 铝合金的温拉深成形研究

王 辉 高 霖 陈明和 金玲玲

南京航空航天大学,南京,210016

摘要: 温热成形是铝合金板料成形的重要方法。通过改造后的极限拉深比试验与方形盒试验,研究了 T6 态的 7075 板料在不同温度下的等温以及非等温拉深性能,并通过对成形后材料强度进行单向拉深试验,分析了经过温成形后材料强度和硬度的变化。结果表明,T6 态铝合金在 140~220℃ 左右拉深性能最好,且成形后可以保持足够的强度和硬度,所以最佳的温拉深成形温度为 140~220℃。

关键词: 高强度铝合金;非等温成形;极限拉深比;温热成形

中图分类号: TG306

DOI: 10.3969/j.issn.1004-132X.2012.02.024

Deep Drawing of A7075 with T6 Temper at Elevated Temperature

Wang Hui Gao Lin Chen Minghe Jin Lingling

Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016

Abstract: Warm forming or hot forming can potentially be used for the forming of AA7075 T6. A modified limit deep drawing ratio test and a box test were used herein to test the deep drawing formability of AA7075-T6 at different temperature. The strength and hardness of material after warm forming was tested at room temperature. Results show that formability of AA7075T6 can be improved greatly at 140~220℃ and the hardness and strength can be maintained after warm forming at this temperature.

Key words: high strength aluminum alloy; non-isothermal warm forming; limit drawing ratio; warm forming or hot forming

0 引言

近年来,随着汽车轻量化技术的发展,越来越多的轻金属材料被应用在汽车制造领域^[1]。在一

些强度要求较高的结构件中,高强度钢板得到广泛应用^[2-3],但随着汽车进一步减重的需要,高强度铝合金有望代替高强度钢板成为汽车轻量化材料。Al-Zn-Mg-Cu 铝合金又称为 7 系列铝合

收稿日期:2010-12-24

Ni Matrix Using Electrodeposition[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2010, 20(4): 637-642.

[3] 周里群. 电沉积镍涂层的冲压性能与冲压成形过程分析[D]. 湘潭:湘潭大学,2004.

[4] Zhou L Q, Li Y P, Zhou Y Q. Numerical Analysis of Electrodeposited Nickel Coating in Multistage Drawing Processes[J]. Journal of Engineering Materials and Technology, 2005, 127(4): 233-243.

[5] Zhou L Q, Zhou Y C, Pan Y. Impact Performance of Electrodeposited Nickel Coating on Steel Substrate [J]. Journal of Materials Science, 2004, 39(2): 753-755.

[6] Zhou Liqun, Li Yuping, Zhou Yichun. Study on Forming Limits of Nickel Coating on Right Region [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(5): 913-918.

[7] 张志涌. 精通 MATLAB[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000.

[8] Zhou Liqun, Tang Jianguo, Li Yuping, et al. Working Performance of Electrodeposited Nickel Coating [C]//International Conference on Mechanical Engi-

neering and Mechanics. Wuxi, China, 2007: 1750-1756.

[9] 肖景容,江奎华. 冲压工艺学[M]. 北京:机械工业出版社,2000.

[10] 彭志辉,余旭凡. 不锈钢覆铝板成形极限的理论分析和实验验证[J]. 中国有色金属学报,1999,9(2): 305-312.

[11] Zhou L Q, Li Y P, Zhou Y C. Forming Limit of Electrodeposited Nickel Coating in the Left Region [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2006, 15(3): 287-294.

[12] Wan M, Yang Y Y, Li S B. Determination of Fracture Criteria during the Deep Drawing of Conical Cups[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2001, 114(1/3): 109-113.

(编辑 张 洋)

作者简介: 周里群,男,1965年生。湖南工程学院机械工程系教授,湘潭大学机械工程学院教授、博士研究生导师。主要研究方向为先进制造技术。发表论文 10 余篇。李玉平,女,湘潭大学机械工程学院副教授。龙文宝,男,1987年生。湘潭大学机械工程学院硕士研究生。

金,在淬火以及时效处理后可以获得很高的强度,又因为它密度小,因此一些国际汽车制造企业开始考虑用其代替高强度钢板来制造一些汽车零件,如汽车的 B 立柱。由于淬火状态下的 7 系列铝合金在室温情况下塑性较差,表现出很强的脆硬性,难以直接用普通的成形方式成形为较复杂的零件^[4],通常需要将板料进行退火处理,增加材料的塑性,成形完后再进行淬火和时效处理。这种方法工艺复杂,后续热处理时间长,并且对零件的尺寸等有一定影响。在航空航天领域超塑性成形也是加工高强度铝合金板料的一种重要方法^[5-7],但是由于超塑性成形工艺复杂,成形时间长,而汽车工业中零件要求批量化生产,生产效率要求较高,所以必须研究新的成形方法。

温成形可以提高材料的塑性,并且不需要很高的温度,因而在铝合金板料的成形中得到了广泛应用^[8-9]。若要将高强度铝合金应用于汽车领域,需要大幅度提高生产效率,温成形有望成为汽车制造领域应用高强度铝合金进行生产的最佳工艺。目前对温成形的研究主要集中在 5 系列、6 系列等不需要热处理的铝合金材料以及部分镁合金材料上^[10-11],而对可热处理的 7 系列铝合金材料的温热成形研究较少。对高强度铝合金板料在不同温度下的性能,以及成形后是否保持足够高的强度等缺乏足够的试验研究。本文对 T6 态 7075 铝合金在不同温度下进行了杯形件和方形盒零件的拉深试验,研究了温度、成形速度等对其拉深性能的影响,并对成形后的零件进行了拉深试验,研究了成形温度对拉深性能以及后续零件强度的影响。

1 试验方法和试验方案

1.1 试验材料

试验材料为美国铝业公司生产的 2mm T6 态 7075 铝合金板料,其基本性能参数和化学成分如表 1、表 2 所示。

表 1 材料在室温下的基本性能参数

名称	状态	厚度 (mm)	屈服强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)
7075	T6	2.0	465	564	11

表 2 材料化学成分 %

元素	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ni	Al
质量分数	0.40	0.50	1.8	0.30	2.2	0.20	5.5	0.20	0.05	余量

1.2 试验设备与条件

通常认为板料的拉深性能可以通过极限拉深

比(LDR)来描述,而盒形件的拉深在板料拉深中也具有代表性,因此本文采用较大尺寸的杯形件和盒形件的拉深试验来研究 T6 态 7075 铝合金的拉深性能。杯形件极限拉深比试验所用模具尺寸如图 1 所示。

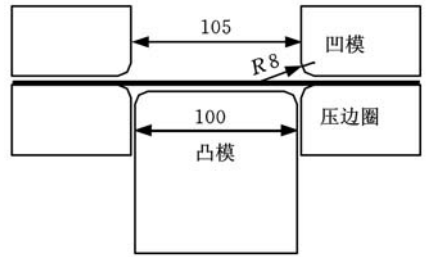


图 1 杯形件极限拉深比试验模具尺寸

为了更好地控制温度,在凹模以及压边中直接用加热棒加热,凸模有两种,在等温成形中凸模内部放置加热棒,而在非等温成形中凸模内部放置水冷装置。设备温度控制误差在±1℃以内。

方形盒零件在大试验机上成形,模具结构相同,其模具尺寸如图 2 所示。

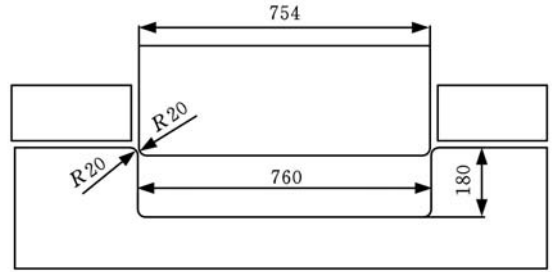


图 2 方形盒模具尺寸

由于在高温环境下普通的润滑剂润滑效果很差,本试验采用 FUCHS 公司的干式润滑剂 AL278 进行润滑,首先用酒精将其稀释溶解,然后均匀地涂在板料上,酒精蒸发后润滑剂就均匀地附着在板料上。

1.3 试验步骤

首先切割试样,并涂上润滑剂,润滑剂干了之后,将板料在预热设备中加热至所设定温度,保温 2min,然后快速取出放入已加热至同一温度下的模具内成形,成形后室温冷却 2h,然后从试样底部截取条形材料(图 3),进行单向拉深试验以及硬度试验。



图 3 成形后拉深试样截取位置

等温试验中凸模、凹模、压边、板料的温度相同,而非等温试验中凸模采用冷却水冷却,其温度保持在 35℃ 左右。板料和其他模具的温度与等温试验设定值相同。试验温度设定为普通材料成形的温度,分别在 25℃、100℃、140℃、180℃、220℃、260℃、300℃ 条件下进行试验。

2 结果与讨论

2.1 温度对板料拉深性能的影响

板料在室温下呈现明显的脆断性,图 4 所示为在室温下的圆形试样与方形试样,圆形试样拉深时板料的极限拉深比 $\eta < 1.6$,方形盒拉深深度低于 25mm。图 5 所示为板料在 180℃ 下的圆形试样与方形试样。

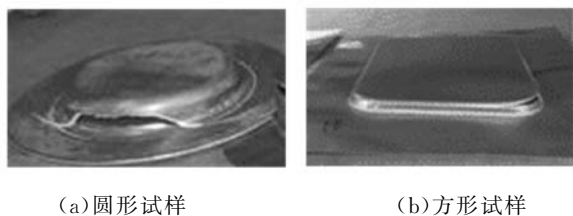


图 4 室温下成形零件

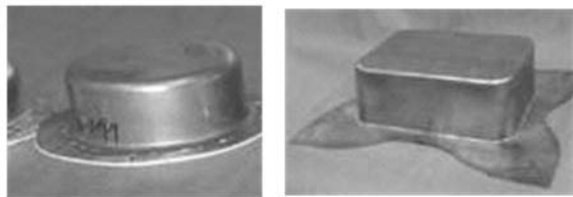


图 5 180℃ 下成形零件

图 6 所示为杯形件在不同温度下拉深成形过程中得到的极限拉深比变化曲线。拉深时板料、凸模、凹模、压边均保持相同温度,凸模速度为 5mm/s。从图 6 可以看出,温度升高至 140℃ 以上时极限拉深比 η 明显提高,温度升高至 180℃ 以上时极限拉深比 η 不再显著上升。而非等温拉深成形得到的拉深深度明显大于等温拉深成形的结果,说明要想提高拉深性能,最低温度为 100℃,温度在 220℃ 以上时拉深性能很难提高。

图 7 给出了方形盒零件的成形性能,不同温

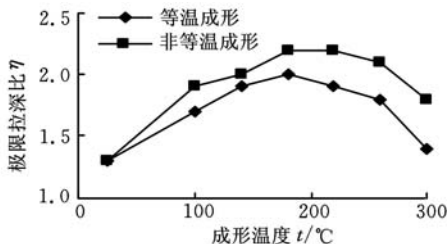


图 6 杯形件的成形温度对极限拉深比的影响

度下方形盒与杯形件的成形高度的变化趋势相同,二者均在 260℃ 以后开始出现拉深性能下降的趋势,由此可见,对于 T6 态 7075 铝合金,并非成形温度越高,拉深性能就越好。两种试验结果均表明,板料的拉深性能在 180~220℃ 左右达到最佳值。

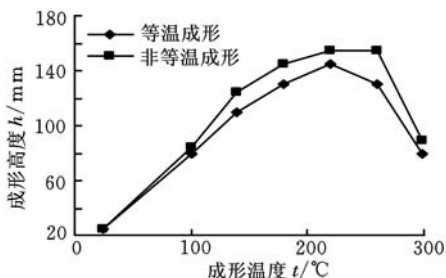


图 7 方形盒的成形温度对极限拉深比的影响

从两种试验还可以看出,非等温成形性能明显优于等温成形性能。这是由于板料拉深的薄弱环节在顶部圆角部位,如果在成形过程中这个部位得到加强,拉深性能自然能够得到很大提高;非等温成形试验由于凸模温度较低,在成形过程中顶部圆角部位的材料温度降低,强度提高,因此非等温成形条件下板料的拉深性能比等温条件下好。

2.2 拉深速度对板料拉深性能的影响

板料在温度升高以后其性能对应变速率的敏感性明显增加,因而在温热成形中成形速度是影响材料成形性能的重要因素之一。本文通过杯形件的拉深试验研究了板料在 140℃、180℃ 及 220℃ 下成形速度对板料拉深性能的影响。试验在等温拉深条件下进行,凸模速度分别为 1mm/s、5mm/s、20mm/s。试验结果如图 8 所示。

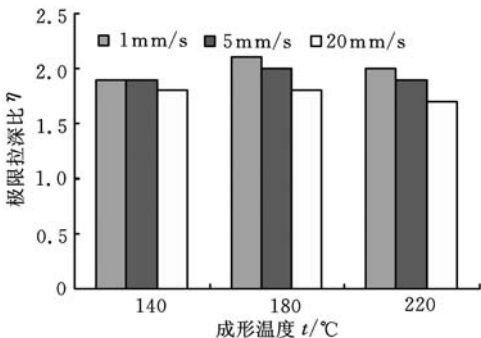


图 8 成形速度对极限拉深比的影响

从图 8 可以看出,在温成形条件下板料的成形速度对拉深性能有着明显的影响,成形速度较高时板料的拉深性能下降,这种下降趋势随着温度的增加更加明显,这与材料在较高的温度下应变速率敏感性增加有关。在较低的温度下,进行低速的非等

温成形对提高板料的拉深性能非常有利。

2.3 成形温度对材料后续强度的影响

由于 7075 铝合金在 T6 状态下性能最好,而成形过程中由于对板料进行了加热,其成形后的性能能否保持在原来的状态下是非常重要的。如果加热温度过高,将造成材料的再结晶,破坏了材料的淬火和时效状态,必然造成其性能降低。

将成形后的试样冷却后在底部截取条形试样,在室温状态下对其进行单向拉深试验和硬度试验,测量其强度和硬度。测量结果如图 9、图 10 所示。

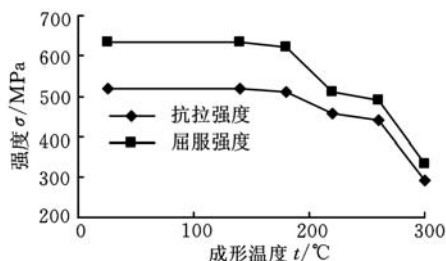


图 9 成形温度对板料强度的影响

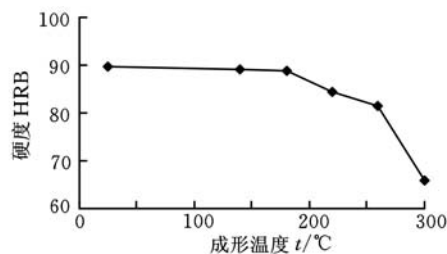


图 10 成形温度对板料硬度的影响

从图 9、图 10 可以看出,淬火状态的板料在加热至 220°C 以下再冷却,对其性能影响不大,而加热至 220°C 以上冷却时,其强度和硬度明显降低,其热处理状态被破坏,如不重新进行淬火和时效处理,其强度难以提高。为了保证材料状态和强度,避免进一步的热处理,对于 T6 态 7075 铝合金材料的温成形应该在 220°C 以下进行。

3 结论

(1) T6 态 7075 铝合金在加热至 140°C 以上时其拉深性能得到明显提高,在 180~220°C 之间达到最佳值,但温度高于 220°C 后拉深性能下降。

(2) 非等温成形对提高 T6 态 7075 铝合金材料的拉深性能非常有利,可以得到比等温拉深条件下更好的拉深性能。

(3) 成形速度对 T6 态 7075 铝合金的拉深性能影响较大,较低的成形速度有利于提高板料的拉深性能,特别是在非等温成形工艺中更为明显。

(4) 成形温度对板料成形后的强度和硬度有影响,当成形温度高于 220°C 时,板料的抗拉强度和屈服强度明显降低,因此在没有后续热处理的

情况下,为保持材料的强度和硬度,T6 态 7075 铝合金温成形温度应低于 220°C。

参考文献:

- [1] Kleiner M, Geiger M. Manufacturing of Lightweight Components by Metal Forming[J]. CIRP Annals—Manufacturing Technology, 2003, 52(2): 521-542.
- [2] 吴磊, 将浩民, 汪晨, 等. 高强度材料性能对车零件冲压回弹的影响[J]. 中国机械工程, 2009, 20(11): 1369-1371.
- [3] Bariani P F, Bruschi S, Ghiotti A, et al. Testing Formability in the Hot Stamping of HSS[J]. CIRP Annals—Manufacturing Technology, 2008, 57(1): 265-268.
- [4] 黄华, 李大永, 彭颖红. 7075-T6 铝合金板温热成形极限图实验[J]. 塑性工程学报, 2010, 17(1): 93-97.
- [5] 杨永顺, 陈拂晓, 徐必鸿, 等. LC4 铝合金尾翼超塑成形的研究[J]. 中国机械工程, 1995, 6(4): 64-66.
- [6] Tahar Sahraoui, Mohamed Hadji, Nacer Bacha, et al. Superplastic Deformation Behavior of 7075 Aluminum Alloy[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2003, 12(4): 398-401.
- [7] Senthil Kumar V S, Viswanathan D, Natarajan S. Theoretical Prediction and FEM Analysis of Superplastic Forming of AA7475 Aluminum Alloy in a Hemispherical Die[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 17(3): 247-251.
- [8] 尹德良, 张凯丰, 吴德忠. AZ31 镁合金非等温拉深性能的研究[J]. 材料科学与工艺, 2004, 12(1): 87-90.
- [9] Daoming Li, Amit K, Ghosh. Biaxial Warm Forming Behavior of Aluminum Sheet Alloys[J]. Journal of Material Processing Technology, 2004, 145(3): 281-293.
- [10] Abedrabbo N, Pourboghra F, Carsley J. Forming of AA5182-O and AA5754-O at Elevated Temperatures Using Coupled Thermo-Mechanical Finite Element Models[J]. International Journal of Plasticity, 2007, 23(5): 841-875.
- [11] Toros S, Ozturk F, Kacar I. Review of Warm Forming of Aluminum—Magnesium Alloys[J]. Journal of Material Processing Technology, 2008, 207(1/3): 1-12.

(编辑 陈 勇)

作者简介:王 辉,男,1978 年生。南京航空航天大学机电学院讲师。主要研究方向为板料成形性能与成形工艺。发表论文 10 余篇。高 霖,男,1954 年生。南京航空航天大学机电学院教授、博士研究生导师。陈明和,男,1965 年生。南京航空航天大学机电学院教授、博士生导师。金玲玲,女,1989 年生。南京航空航天大学机电学院硕士研究生。