



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118162535 A

(43) 申请公布日 2024.06.11

(21) 申请号 202410559378.9

(22) 申请日 2024.05.08

(71) 申请人 湘潭大学

地址 411199 湖南省湘潭市雨湖区羊牯塘
街道湘潭大学

(72) 发明人 李承波 赵偲 丁文静 朱戴博
刘洋 郑学军 刘胜胆

(74) 专利代理机构 广州嘉权专利商标事务所有
限公司 44205

专利代理师 肖云

(51) Int. Cl.

B21D 22/02 (2006.01)

G22F 1/04 (2006.01)

B21D 37/16 (2006.01)

权利要求书1页 说明书8页

(54) 发明名称

一种铝合金的成形方法及应用

(57) 摘要

本发明公开了一种铝合金的成形方法及应用,包括以下步骤:S1.将铝合金于固溶温度450~550°C下保温后淬火;S2.将淬火后的铝合金冷却至-200~-100°C保温、预变形,其中,预变形的变形量为10~50%;S3.将预变形后的铝合金在-200~-100°C下施加应力100~400MPa进行深冷蠕变时效成形后加热至120~220°C保温、冷却;步骤S3中,加热的速率为10~40°C/s;铝合金包括铝合金板材。本发明提出一种铝合金的成形方法,提高了制备得到的铝合金材料的强度、伸长率和耐腐蚀性能与精度。

1. 一种铝合金的成形方法,其特征在于:包括以下步骤:
 - S1. 将铝合金于固溶温度450~550℃下保温后淬火;
 - S2. 将淬火后的铝合金冷却至-200~-100℃保温、预变形,其中,所述预变形的变形量为10~50%;
 - S3. 将预变形后的铝合金在-200~-100℃下施加应力100~400MPa进行深冷蠕变时效成形后加热至120~220℃保温、冷却;
步骤S3中,所述加热的速率为10~40℃/s;
所述铝合金包括铝合金板材。
2. 根据权利要求1所述的铝合金的成形方法,其特征在于:步骤S1中,所述保温的时间为10~60min。
3. 根据权利要求1所述的铝合金的成形方法,其特征在于:步骤S1中,所述淬火的方法包括水冷淬火。
4. 根据权利要求1所述的铝合金的成形方法,其特征在于:步骤S2中,所述冷却的速率为100~150℃/s。
5. 根据权利要求1所述的铝合金的成形方法,其特征在于:步骤S2中,所述保温的时间为10~60min。
6. 根据权利要求1所述的铝合金的成形方法,其特征在于:步骤S2中,所述预变形的的方法包括拉伸、轧制、压缩和拉拔中的至少一种。
7. 根据权利要求1所述的铝合金的成形方法,其特征在于:步骤S3中,所述保温的时间为30~300min。
8. 根据权利要求1所述的铝合金的成形方法,其特征在于:步骤S3中,所述冷却后还包括卸除载荷。
9. 一种如权利要求1~8中任一项所述的铝合金的成形方法在制备航空航天构件中的应用。

一种铝合金的成形方法及应用

技术领域

[0001] 本发明涉及铝合金技术领域,具体涉及一种铝合金的成形方法及应用。

背景技术

[0002] 高强铝合金整体壁板类构件是航空航天领域高端装备制造急需的关键构件。蠕变时效成形技术主要用于金属薄壁、复杂曲率零件的成形制造,尤其适用于航空航天、高铁等具有复杂气动外形的整体蒙皮或网格壁板类零件制造。该方法已成功应用于飞机机翼整体壁板的制造中,并在未来的大型飞机如下一代大飞机的整体壁板构件制造中具有相当大的潜力。回弹的精确预测与材料性能的调控,既是蠕变时效成形的关键技术也是难点所在。蠕变时效成形技术利用铝合金蠕变变形和时效强化特性,将材料成形过程和热处理过程同步进行,可望实现当前高性能构件成形一体化精确制造的目标,是亟待研究和发展的一种先进金属板材成形技术。然而,蠕变时效成形在复杂的热-力耦合场下进行,蠕变和时效之间存在强交互作用,表现为宏观变形,微观组织演变和材料性能变化之间相互影响,导致成形件难以同时获得精确的尺寸外形和优良的材料性能。

[0003] 因此,需要开发一种铝合金的成形方法及应用实现铝合金成形件同时获得精确的尺寸外形和优良的材料性能。

发明内容

[0004] 本发明旨在解决现有技术中存在的上述技术问题。为此,本发明提出一种铝合金的成形方法,提高了制备得到的铝合金材料的强度、伸长率和耐腐蚀性能与精度。

[0005] 本发明还提出了一种铝合金的成形方法在航空航天构件中的应用。

[0006] 根据本发明的一个方面,提出了一种铝合金的成形方法:包括以下步骤:

S1. 将铝合金于固溶温度450~550℃下保温后淬火;

S2. 将淬火后的铝合金冷却至-200~-100℃保温、预变形,

其中,所述预变形的变形量为10~50%;

S3. 将预变形后的铝合金在-200~-100℃下施加应力100~400MPa进行深冷蠕变时效成形后加热至120~220℃保温、冷却;

步骤S3中,所述加热的速率为10~40℃/s;

所述铝合金包括铝合金板材。

[0007] 本发明的有益效果如下:

本发明的铝合金的成形方法,对铝合金的成形性能、成形精度、强度和生产效率均有显著的提升;在成形复杂外形和结构的零件时,本发明步骤S3中仅需要一次加热步骤就可使零件的外形达到所需精度,因此能够有效减少误差积累,确保零件成形的准确性和一致性,外形精度误差小于1mm,成形得到的零件内部残余应力几乎被完全释放,尺寸稳定,不会出现如喷丸成形的零件在放置一段时间后因内部残余应力释放而造成外形变化等问题;重复性好、工艺稳定、能够生产多曲率复杂形状的零部件。该成形在一次成形中可以得到非

常接近要求的形状。且本发明成形得到的铝合金相比常规蠕变成形工艺的铝合金材料,抗拉强度最高从548MPa提高到747MPa,屈服强度最高从503MPa提高到715MPa,伸长率最高从10%提高到15%,最大晶间腐蚀深度从126 μm 减小至52 μm ,回弹率从30%下降至8%。成形前不需要长时间的蠕变时间,大大缩短生产时间,可以从20h缩短到1h以内,显著提高生产效率。

[0008] 具体地,步骤S2中-200~-100 $^{\circ}\text{C}$ 保温、预变形具有以下作用:1.在-200~-100 $^{\circ}\text{C}$ 下预变形的过程可以有效地消除铝合金的原材料中的残余应力,使得铝合金在后续的成形过程中减少了应力的积累,有利于铝合金的塑性变形;2.在-200~-100 $^{\circ}\text{C}$ 进行变形量为10~50%的预变形,在该范围内的预变形量的增加,晶内位错密度增加,产生大量位错和纳米晶,铝合金的基体中析出相细化明显,位错上的细小连续析出相逐渐增多,有效地增强铝合金材料的强度和硬度、延缓铝合金材料的疲劳裂纹扩展速度、减少腐蚀介质对材料的侵蚀和损伤、提高材料的热稳定性和抗变形能力、使得材料在受到外部应力时具有更好的抗变形能力和延展性,同时预变形会促进时效析出,细化析出相尺寸。在预变形过程中,铝合金内部产生了大量的位错,使得空位密度增大,随着空位密度的增加,析出相形成的活化能降低,溶质原子更容易扩散,铝合金基体中形核位置增加,从而细化了晶体中的亚结构,因此预变形不仅可以提高后续的深冷蠕变时效成形的硬化效果,而且降低了成本和能耗。3.预变形的变形量为10~50%,避免了因变形量过低,导致的铝合金的强度较低、回弹率和成形精度较差;同时也避免了因铝合金变形量过高,导致伸长率变差,产生的应力过大的情况。4.步骤S2的-200~-100 $^{\circ}\text{C}$ 的预变形、协同步骤S3的施加应力和深冷的过程中,产生一定程度上的加工硬化的同时产生应力松弛和蠕变现象,而且还会产生时效硬化(第二相析出强化)现象。

[0009] 铝合金在步骤S1的过程中形成了大量的空位,淬火时,这些空位来不及湮灭便被“固定”在晶体内,形成过饱和固溶体,在过饱和固溶体中,空位大多与溶质原子结合在一起。由于过饱和固溶体处于不稳定状态,必然向平衡状态转变。因此,步骤S3中施加应力是先在超低温下进行急冷处理,再进行急热处理(铝合金在-200~-100 $^{\circ}\text{C}$ 下施加应力100~400MPa进行深冷蠕变时效成形后加热至120~220 $^{\circ}\text{C}$ 保温、冷却,加热的速率为10~40 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$),细化析出相,提高力学性能、成形性能和耐腐蚀性能,其原理包括有位错强化、细晶强化、析出强化和应变强化。在步骤S3中深冷处理过程中(-200~-100 $^{\circ}\text{C}$)过饱和固溶体进行脱溶析出,通过一系列脱溶结构(偏聚区、有序区、过渡区、平衡相)的出现、消失、形核及长大来实现,同时施加应力过程中,产生大量的位错,溶质原子在空位作用下快速聚集成GP区;在10~40 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 的加热速率、120~220 $^{\circ}\text{C}$ 的加热温度下,GP区优先转变为界面能较小、易生成的亚稳态过渡相,此为时效硬化机制;同时避免了温度过低,时效析出相的尺寸小、数量少而导致的铝合金强度较低,成形精度较差;以及避免因温度过高,时效析出相的尺寸大、粗化,导致得到的铝合金的强度较低。-200~-100 $^{\circ}\text{C}$ 下施加应力100~400MPa进行深冷蠕变时效成形的过程中,铝合金内部存在空位和位错等晶体缺陷,加速溶质扩散,为沉淀相形核和生长提供大量溶质原子。随着应力的增大,产生大量位错,大量位错的存在为时效沉淀成核提供了类核点,析出相尺寸细化。与此同时,步骤S2的-200~-100 $^{\circ}\text{C}$ 的预变形协同步骤S3的深冷蠕变时效成形的过程中,也会产生一定程度上的加工硬化,深冷蠕变时效成形过程中的强化机制主要包含固溶强化、时效强化和位错强化三种,其中在100~400MPa的应力下一方面能够同时加快晶内和晶界处析出相的长大和粗化;另一方面,应力能够同时加快晶内和晶界处析出相的长大和粗化;晶界连续析出相发生粗化并且变得不连续;晶界无析出区域变窄甚

至消失,提高合金的屈服强度以及耐晶间腐蚀性能。应力保持在100~400MPa下避免了因施加应力过小,产生的位错太少,不利于时效析出强化,同时成形精度也较差以及施加应力过大,产生的大量位错,导致时效析出相粗化、强度降低,还有可能造成零件破坏失效。本发明的深冷蠕变时效成形的过程中的应力100~400MPa低于材料本身的屈服应力,因此相对于常规塑性变形而言,深冷蠕变时效成形减小了铝合金材料因进入屈服状态后而引发失稳甚至破裂的危险,大大降低了零件发生加工裂纹的几率;同时本发明的成形方法利用铝合金材料析出强化和应力松弛特性,在深冷蠕变时效成形的同时,还完成了对铝合金材料的析出强化,从而改善了材料的微观组织,提高了材料强韧性和耐蚀性。

[0010] 步骤S3在压机中进行,压机对铝合金施加压应力100~400MPa,冷却后打开压机的上模卸压。

[0011] 在本发明的一些实施方式中,所述铝合金材料的成形方法,包括以下步骤:

S1. 将铝合金于固溶温度450~500℃下保温后淬火;

S2. 将淬火后的铝合金冷却至-180~-150℃保温、预变形;

预变形的变形量为10~50%;

S3. 将预变形后的铝合金在-200~-100℃下施加应力100~400MPa后加热至120~220℃保温、冷却。

[0012] 在本发明的一些实施方式中,步骤S1中,所述铝合金板材包括2mm厚的7075铝合金薄板。

[0013] 在本发明的一些实施方式中,步骤S1中,所述保温的时间为30~50min。

[0014] 在本发明的一些优选地实施方式中,步骤S1中,所述保温的时间为10~60min。

[0015] 在本发明的一些实施方式中,步骤S1中,所述淬火的方法包括水冷淬火。

[0016] 在本发明的一些实施方式中,步骤S1中,所述淬火过程的冷却速率为:100~400℃/s。

[0017] 步骤S1中,在固溶淬火的过程中形成了大量的空位,淬火时,采用水冷淬火冷却速度快,这些空位来不及湮灭便被“固定”在晶体内,形成过饱和固溶体。在过饱和固溶体中,空位大多与溶质原子结合在一起。由于过饱和固溶体处于不稳定状态,必然向平衡状态转变,有利于后续步骤S2、S3的处理过程中提高材料的稳定、硬度和强度以及耐腐蚀性。

[0018] 在本发明的一些实施方式中,步骤S2中,所述冷却的速率为100~150℃/s。

[0019] 在本发明的一些优选地实施方式中,步骤S2中,所述冷却的速率为110~130℃/s。

[0020] 上述冷却速率下保证了铝合金材料中位错的产生,从而提升铝合金材料的力学性能。

[0021] 在本发明的一些实施方式中,步骤S2中,所述保温的时间为10~60min。

[0022] 在本发明的一些实施方式中,步骤S2中,所述预变形的的方法包括拉伸、轧制、压缩和拉拔中的至少一种。

[0023] 在本发明的一些优选地实施方式中,步骤S3中,所述加热的速率为10~30℃/s。

[0024] 上述加热速率下,避免了因加热速率过小效果不佳而导致的铝合金材料的强度降低;同时避免加热速率过大,导致铝合金材料的受热不均匀。

[0025] 在本发明的一些实施方式中,步骤S3中,所述保温的时间为30~300min。

[0026] 在本发明的一些实施方式中,步骤S3中,所述深冷蠕变时效成形的保压时间为20~

60min。

[0027] 在本发明的一些实施方式中,步骤S3中,所述冷却后还包括卸除载荷。

[0028] 根据本发明的二个方面,提出了一所述的铝合金的成形方法在航空航天构件中的应用。

具体实施方式

[0029] 以下将结合实施例对本发明的构思及产生的技术效果进行清楚、完整地描述,以充分地理解本发明的目的、特征和效果。显然,所描述的实施例只是本发明的一部分实施例,而不是全部实施例,基于本发明的实施例,本领域的技术人员在不付出创造性劳动的前提下所获得的其他实施例,均属于本发明保护的范围。

[0030] 实施例1

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于板材固溶温度480℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-170℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温(-170℃)下进行轧制预变形,变形量30%;

S3. 将预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-170℃)施加压应力100MPa,保持30min后急速加热至170℃,保温60min,加热速率20℃/s;接着进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0031] 实施例2

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度480℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-170℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温(-170℃)下进行轧制预变形,变形量30%;

S3. 预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-170℃)施加压应力250MPa,保持30min后结束取出急速加热至170℃,保温60min,加热速率20℃/s;接着进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0032] 实施例3

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度480℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-170℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温(-170℃)下进行轧制预变形,变形量30%;

S3. 将预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-170℃)施加压应力400MPa,保持30min后急速加热至170℃,保温60min,加热速率20℃/;接着进行水冷至室温,冷却速率为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0033] 实施例4

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度480℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-170℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温(-170℃)下进行轧制预变形,变形量10%;

S3. 将预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-170℃)施加应力250MPa,保持30min后急速加热至170℃,保温60min,加热速率20℃/s;接着进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0034] 实施例5

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度480℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-170℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温(-170℃)下进行轧制预变形,变形量50%;

S3. 将预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-170℃)施加压应力250MPa,保持30min后急速加热至170℃,保温60min,加热速率20℃/s;接着进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0035] 实施例6

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度450℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-200℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温(-200℃)下进行轧制预变形,变形量50%;

S3. 将预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-200℃)施加压应力250MPa,保持30min后急速加热至120℃,保温60min,加热速率20℃/s;接着进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0036] 实施例7

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度550℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-100℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温(-100℃)下进行轧制预变形,变形量50%;

S3. 将预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-100℃)施加压应力250MPa,保持30min后急速加热至220℃,保温60min,加热速率20℃/s;接着进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0037] 实施例8

本实施例提供了一种铝合金材料的成形方法,为如下步骤:

S1. 取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度500℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;

S2. 将淬火后的板材急速冷却至-150℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温

(-150℃)下进行轧制预变形,变形量50%;

S3.将预变形后的铝合金薄板转移至压机中在超低温下(-150℃)施加压应力300MPa,保持30min后急速加热至160℃,保温60min,加热速率20℃/s;接着进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,结束后打开压机泄压(卸除载荷)。

[0038] 对比例1

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例不包括超低温(-170℃)下进行轧制预变形的步骤,具体为如下步骤:

取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度480℃、保温时间40min,采用水冷淬火,淬火的冷却速率为300℃/s;淬火板材急速冷却至-170℃,冷却速率120℃/s,保温30min,在超低温下(-170℃)施加应力250MPa,然后结束取出急速加热至170℃,保温60min,加热速率20℃/s,取出进行水冷至室温,冷却速度为100℃/s,然后卸除载荷。

[0039] 对比例2

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,蠕变时效成形的温度为170℃,具体为:

取2mm厚的7075铝合金薄板于固溶温度480℃、保温时间40min,采用水冷淬火;进行蠕变时效成形,施加应力250MPa,蠕变时效成形温度170℃,保温时间20h,卸载取出样品。

[0040] 对比例3

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,在超低温下进行轧制预变形,变形量8%,其余条件相同。

[0041] 对比例4

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,在超低温下进行轧制预变形,变形量55%,其余条件相同。

[0042] 对比例5

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,淬火板材急速冷却至-230℃,其余条件相同。

[0043] 对比例6

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,淬火板材急速冷却至-80℃,其余条件相同。

[0044] 对比例7

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,施加应力50MPa,其余条件相同。

[0045] 对比例8

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,施加应力450MPa,其余条件相同。

[0046] 对比例9

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,急速加热至260℃,其余条件相同。

[0047] 对比例10

本对比例提供了一种铝合金材料的成形方法,本对比例和实施例1的区别在于,急

速加热至100℃,其余条件相同。

[0048] 试验例

实施例和对比例的性能如表1所示。

[0049] 力学性能检测标准:GB/T 228.1-2021;

铝合金晶间腐蚀测定方法:GB/T 7998-2023;

回弹率测量方法:

$$\eta = (d_{\max} / d_0) \times 100\%$$

式中 d_0 为模具曲面与初始试样间的最大弦高, d_{\max} 为试样回弹后与模具面之间的最大弦高。使用三维光栅扫描仪对回弹后样件形面进行精确测量。

[0050] 外形精度:采用检测模具,将样品放在检测模具上,测量样品与检测模具之间的间隙。

[0051] 表1 性能结果

	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	伸长率 (A%)	最大晶间腐 蚀深度 (μm)	回弹 率 %	外形精度 mm
实施例1	725	684	13	68	10	0.3
实施例2	732	691	14	56	8	0.2
实施例3	718	673	15	52	9	0.25
实施例4	708	661	15	75	11	0.4
实施例5	747	715	12	69	7	0.15
实施例6	703	658	14	72	12	0.4
实施例7	715	689	12	78	13	0.5
实施例8	711	670	13	70	12	0.4
对比例1	603	548	9	114	15	0.5
对比例2	548	503	10	126	30	0.9
对比例3	681	638	13	95	13	0.5
对比例4	751	738	8	86	14	0.6
对比例5	695	668	12	68	19	0.7
对比例6	658	602	9	98	18	0.6
对比例7	649	601	13	102	20	0.8
对比例8	691	672	8	84	15	0.6
对比例9	678	645	10	78	13	0.5
对比例10	685	621	14	106	16	0.55

[0052] 本发明中的铝合金材料的成形方法提高了铝合金材料的强度、伸长率和耐腐蚀性能,降低了回弹。从表1的测试结果可以看出,本发明成形铝合金相比常规蠕变成形工艺(对比例2)的铝合金材料,抗拉强度最高从548MPa提高到747MPa,屈服强度最高从503MPa提高到715MPa,伸长率最高从10%提高到15%,最大晶间腐蚀深度从126 μm 减小至52 μm ,回弹率从30%下降至8%。成形前不需要长时间的蠕变时间,大大缩短生产时间,可以从20h缩短到1h以内,显著提高生产效率。

[0053] 对比例1不包括超低温(-170 $^{\circ}\text{C}$)下进行轧制预变形的步骤,无法有效地消除铝合金的原材料中的残余应力,不利于铝合金的塑性变形,从而导致铝合金性能下降。

[0054] 对比例2蠕变时效成形的温度为170 $^{\circ}\text{C}$,该温度下无法完成对铝合金材料的析出强化,导致铝合金强韧性和耐蚀性的下降。对比例3,4中变形量过大或过小,变形量过低,导致的铝合金的强度较低、回弹率和成形精度较差;变形量过高,导致伸长率变差,产生的应力过大的情况。对比例5,6中温度过低或者过高,导致后续急热处理效果不佳,强度下降,耐腐蚀性能下降,同时成形性能也不好。对比例7,8施加的应力过大或过小导致晶内晶界析出相粗大,不利于强化效果,造成强度和耐腐蚀性能下降;同时还造成回弹量增加,尺寸精度下降。对比例9,10施加的加热的温度过高或者过低导致铝合金急热效果不佳,不利于时效强化相析出,导致强度低,耐腐蚀性能较差。

[0055] 上面对本发明实施例作了详细说明,但是本发明不限于上述实施例,在所属技术领域普通技术人员所具备的知识范围内,还可以在不脱离本发明宗旨的前提下作出各种变化。此外,在不冲突的情况下,本发明的实施例及实施例中的特征可以相互组合。