

铝合金板材温热成形技术规范

(征求意见稿)

编制说明

2023年5月

目 录

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 一、工作简况 | 错误!未定义书签。 |
| 1. 任务来源 | 错误!未定义书签。 |
| 2. 主要工作过程 | 错误!未定义书签。 |
| 3. 主要起草单位和起草人 | 错误!未定义书签。 |
| 二、标准编制原则和主要内容及解决的主要问题 | 错误!未定义书签。 |
| 1. 标准编制原则 | 错误!未定义书签。 |
| 2. 标准的主要内容 | 错误!未定义书签。 |
| 3. 解决的主要问题 | 错误!未定义书签。 |
| 三、主要试验[或验证]分析 | 错误!未定义书签。 |
| 四、知识产权情况说明 | 错误!未定义书签。 |
| 五、产业化情况、推广应用论证和预期达到的经济效果 | 错误!未定义书签。 |
| 六、转化国际标准和国外先进标准情况 | 错误!未定义书签。 |
| 七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准的协调性 | 错误!未定义书签。 |
| 八、重大分歧意见的处理经过和依据 | 错误!未定义书签。 |
| 九、贯彻标准的要求和措施建议 | 错误!未定义书签。 |
| 十、替代或废止现行相关标准的建议 | 错误!未定义书签。 |
| 十一、其它应予说明的事项 | 错误!未定义书签。 |
| 附件：铝合金板材温热成形技术测试大纲 | 11 |

团体标准《铝合金板材温热成形技术规范》

编制说明

(征求意见稿)

一、工作简况

1. 任务来源

为发挥标准助力质量提升的重要作用,用标准提升行业发展门槛,尽快解决铝合金板材温热成形技术无高标准可依的问题,根据铝合金板材温热成形行业调研和实际研发经验,结合《关于印发 2023 年度第二批团体标准立项的通知》(中国工艺协会[2023]第 13 号)文件要求,由中国机械制造工艺协会提出,由中国机械制造工艺协会标准化工作委员会归口,由北京机科国创轻量化科学研究院有限公司牵头组织制定,提出了《铝合金板材温热成形技术规范》团体标准提案,负责起草单位为北京机科国创轻量化科学研究院有限公司。计划应完成时间 2023 年。

2. 标准编写的目的和意义

汽车工业是我国重要的支柱产业之一,同时存在着高能耗、碳排放等节能环保问题。汽车轻量化是推进汽车工业可持续发展的重要举措,是减少燃油消耗的重要措施,能够有效减少汽车碳排放,节能环保。高强轻质的铝合金板材具有比强度高、成形性好等优点,是汽车轻量化领域的先进材料,近年来其应用不断推广。由铝合金板材温热成形技术生产的铝合金产品性能良好、可靠性高,能够满足汽车铝合金零部件的使用要求,同时在轨道交通、航空航天等领域也具有良好的应用前景。

然而，通过调查研究发现，国内尚无针对铝合金板材温热成形技术的国家标准和团体标准，目前已有的有关规范多集中于具体温热成形零件成形后的尺寸精度、力学性能等指标是否符合产品的应用要求或研发目标，多为企业自己制定的企业标准，或并未形成标准，缺乏针对铝合金板材温热成形技术本身的标准，这样难以形成系统的、权威的成形技术依据和规范，容易导致铝合金板材温热成形技术研发效率降低、成形件的平均质量降低等问题，给行业的健康发展带来了阻碍和隐患。

故针对上述问题，结合国内汽车行业以及轻量化领域的实际需求，制定铝合金板材温热成形技术规范，能够指导汽车复杂结构铝合金零件的高质量成形，扩大铝合金材料在汽车上的应用范围，进一步对汽车整体进行减重，实现节能减排，减少环境污染，进一步推动轻量化技术在汽车工业的深入发展。

3. 主要工作过程

起草（草案、调研）阶段：

（1）资料整理和行业调研

计划下达后，由北京机科国创轻量化科学研究院有限公司联合中国机械制造工艺协会组织成立了标准制定起草工作组（以下简称工作组）。工作组对主要工作内容进行了认真分析和讨论，于2022年3月-9月，收集并分析现有国内外铝合金板材温热成形相关的工艺流程、技术要求和标准等资料，进行行业调研，以我国铝合金板材温热成形技术发展现状为基础，结合《冲模滑动导向模架》（GB/T 2851-2008）等标准的思路，经过多次研讨，确定标准研制的原则和路线，初步形成《铝合金板材温热成形技术规范》的标准内容框架。

（2）完成标准草案的编写

依据调研和咨询结果，工作组经多次讨论和修改，结合相关的工艺、模具、制件试验验证，于 2022 年 10 月-2023 年 1 月，以前期资料整理工作为基础，以《冲模导向装置 第 1 部分：滑动导向导柱》（GB/T 2861.1-2008）、《冲压件尺寸公差》（GB/T 13914-2013）等标准为依据，针对铝合金板材温热成形的关键技术要求，考虑铝合金板材温热成形工艺流程、技术要求等因素，并参照国内同行业的技术能力和生产现状，充分考虑标准的实际指导意义，结合铝合金板材温热成形行业各企业多年的设计生产经验，提出铝合金板材温热成形技术的工艺流程、铝合金板材原材料要求、温热成形冲压方式要求、模具结构设计要求、模具加热方式选择、模具加热计算方法、温热成形零件质量检查等技术规范，从而形成《铝合金板材温热成形技术规范》标准草案。

（3）标准立项审查

2023 年 3 月 15 日，经中国机械制造工艺协会标准化工作委员会立项审查程序，经协会标准化工作委员会 48 位委员讨论，《铝合金板材温热成形技术规范》等 4 项标准立项的议案符合立项条件，并根据立项会议的讨论结果，对标准内容进行完善。

（4）形成征求意见稿

工作组根据讨论会上专家意见，并结合企业调研情况对标准草案进行修改，于 2023 年 4 月 25 日形成征求意见稿。

4. 主要参加单位和工作组成员及其所作的工作等

本标准由北京机科国创轻量化科学研究院有限公司和中国机械制造工艺协会共同起草。

主要成员：孙福臻、张泉达、蔡克乾、刘子知、战丽。

所作的工作：孙福臻担任起草工作组组长，全面协调标准起草工作。张泉达负责标准的总体校核和指导编写工作，蔡克乾负责工艺总结和试验验证工作，刘子知、战丽负责标准资料的收集和标准草案书写工作。

二、标准编制原则和主要内容

1. 标准编制原则

1) 规范性原则：本标准在起草过程中，主要按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求编写。

2) 兼容性原则：《铝合金板材温热成形技术规范》与 GB/T 2851《冲模滑动导向模架》、GB/T 2861.1《冲模导向装置 第 1 部分：滑动导向导柱》、GB/T 2861.3《冲模导向装置 第 3 部分：滑动导向导套》、GB/T 20914.1《冲模 氮气弹簧 第 1 部分：通用规格》、GB/T 13914-2013《冲压件尺寸公差》、GB/T 13915《冲压件角度公差》、GB/T 33217《冲压件毛刺高度》等其他标准相兼容。

2. 标准主要内容

本标准 of 铝合金板材温热成形的工艺设计与开发提供技术规范，同时也为铝合金板材温热成形的生产应用提供技术依据。本标准适用于为顾客提供铝合金板材温热成形技术支持和相关服务的企业。

第 3 章术语和定义参考了铝合金板材温热成形实际的工艺与研发情况，进行了“铝合金板材温热成形技术”的术语说明。

第 4 章工艺流程及关键工艺参数参考了铝合金板材温热成形实际的工艺流程，制定了“4.1 工艺流程”、“4.2 工艺过程及关键工艺参数表”的主要内容。

第 5 章铝合金板材温热成形技术要求参考了铝合金板材温热成形实际的技术要求，制定了“5.1 铝合金板材”、“5.2 温热成形冲压步骤”、“5.3 模具结构设计”、“5.4 板料加热”、“5.5 模具加热”、“5.6 模具加热功率”的主要内容，并参考了 GB/T 2851、GB/T 2861.1、GB/T 2861.3、GB/T 20914.1 标准。

第 6 章零件质量检查参考了铝合金板材温热成形零件实际的质量检查流程，并参考了 GB/T 13914、GB/T 13915、GB/T 33217 标准。

3. 主要技术要求确定依据

(一) 工艺流程

工艺流程项目主要涉及通过铝合金板材温热成形工艺制备铝合金薄壁零件使用的生产步骤，其技术指标主要根据产品特点、生产企业的技术规格书、生产工艺的实际水平综合汇总而定的。

(二) 工艺参数

工艺参数项目主要涉及铝合金板材温热成形工艺中的关键参数，考虑在高温条件下，铝合金材料的成形性能提高，所需成形力较室温减小，成形极限提高，不易产生起皱、开裂、大回弹等缺陷。其技术指标主要根据产品特点、生产企业的技术规格书、生产工艺的实际水平综合汇总确定，并通过有限元分析结合工艺试验对工艺参数的合理性进行验证。

(三) 模具设计

模具设计主要涉及模具结构及模具加热的有关要求，保证铝合金温热成形零件的尺寸精度和力学性能，同时需要考虑生产的安全性和结构合理性，项目主要参考冲压模具设计的有关规范，比如 GB/T 2851《冲模滑动导向模架》、GB/T

2861.1《冲模导向装置 第1部分：滑动导向导柱》、GB/T 2861.3《冲模导向装置 第3部分：滑动导向导套》等。

三、主要试验（或验证）情况

由于本标准所规范的内容是在结合《冲模导向装置 第1部分：滑动导向导柱》（GB/T 2861.1）、《冲压件尺寸公差》（GB/T 13914）等标准的基础上，增加针对“铝合金板材温热成形技术规范”的详细要求，能够为国内基于铝合金板材温热成形技术的生产、应用、研发企业提供指导。验证的主要依据为铝合金板材温热成形零件的尺寸精度和力学性能，外观及结构项目采用触摸、目视方法进行检查，判断是否产生起皱、开裂、大回弹等缺陷。

在编制过程中，为提高标准质量，把标准中涉及企业切身利益的技术参数和内容“定到位”，组织工作组部分成员单位对铝合金板材温热成形工艺效果、模具设计及制造、零件的成形精度等方面内容进行试验测试，将有关测试结果作为标准技术内容确定的重要依据，测试结果汇总表见表1所示，测试结果记录见附件。

表1 测试结果汇总表

| 序号 | 测试内容 | 测试目的 | 测试关键指标 | 测试结果 | 与标准的关联性 |
|----|--------|----------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | 室温拉伸试验 | 测试温热成形工艺对铝合金板力学性能的影响 | 屈服强度、抗拉强度、断后伸长率 | 采用的温热成形工艺大幅提高了铝合金试样的力学性能 | 主要与标准中第4.1、4.2、5.1节关联 |
| 2 | 模具试制试验 | 测试模具结构设计技术规范的合理性与可行性 | 外观、工作型面、弹性元件等 | 模具各项指标符合验收要求 | 主要与标准中第5章关联 |
| 3 | 零件试制试验 | 测试采用的温热成形工艺及模具是否能够获得高质量的零件 | 有无缺陷、尺寸精度 | 零件无缺陷，尺寸精度符合要求 | 主要与标准中第6章关联 |

四、标准中涉及专利的情况

本标准未涉及专利。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

1) 为铝合金板材温热成形技术的设计与开发提供指导，促进铝合金板材温热成形技术研发团队和生产企业提供高质量的产品和服务；

2) 为铝合金板材温热成形技术的生产应用提供依据，能够促进铝合金板材温热成形行业的快速健康发展；

3) 促进制造商针对铝合金板材温热成形制成产品出现的问题进行改善，或做出降低成本等方面的改进。

六、与国际、国外对比情况

本标准将现有标准与我国国内的实际现状和用户的要求相结合，比较适合我国的行业情况。

七、与现行相关法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与我国的现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准制定过程中，尚无出现未采纳的重大分歧意见。

九、标准性质的建议说明

本标准为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

因铝合金板材温热成形技术发展时间较短，颁布、贯彻实施前应及时在公众媒体、行业内部的有关信息上公开宣传，组织有关人员积极参加行业协会活动，

及时了解国内外标准制、修订信息,引起行业有关部门领导和与员工的高度重视,利于企业结合实际学习研究标准并贯彻实施标准。

附件：

铝合金板材温热成形技术测试大纲

一、温热成形热处理试件室温拉伸试验测试

试验对象为铝合金室温拉伸试件，尺寸如图 1 所示，厚度分别为 1.2mm、1.5mm 和 2mm。拉伸试样分为热处理前试样和热处理后试样，其中热处理前试样不进行额外的热处理步骤，直接进行制样，热处理后试样按照铝合金温热成形工艺要求的加热温度和加热时间进行热处理后再进行制样。

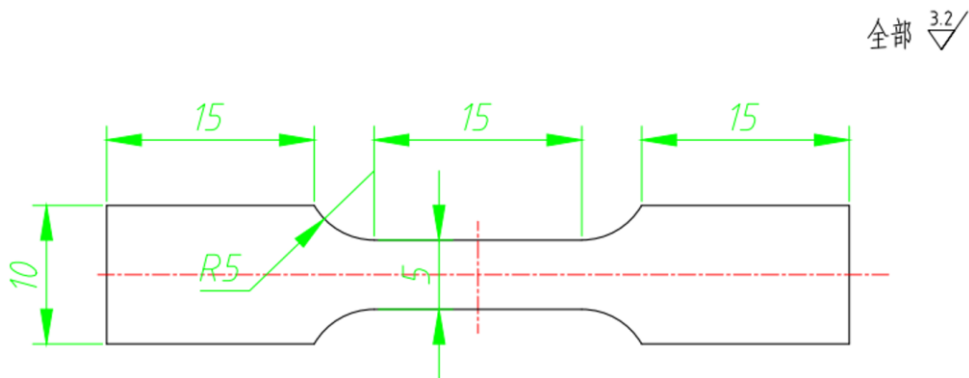


图 1 铝合金室温拉伸试件尺寸

将每种厚度(共 3 种)的拉伸试件分为 3 组, 每组分别进行 $0.001s^{-1}$ 、 $0.005s^{-1}$ 和 $0.01s^{-1}$ 应变速率的室温拉伸试验, 每种厚度生成检测报告, 进行力学性能的对比, 以验证铝合金温热成形对板材力学性能的提升。

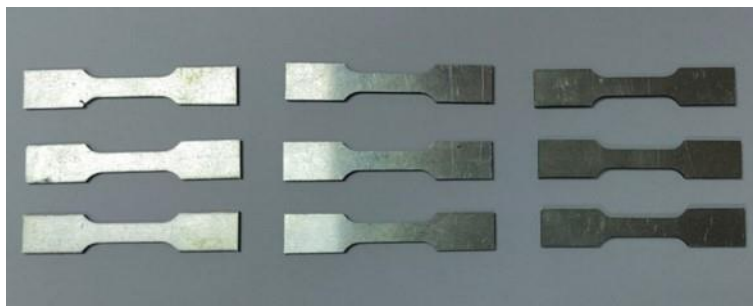


图 2 铝合金室温拉伸试件尺寸

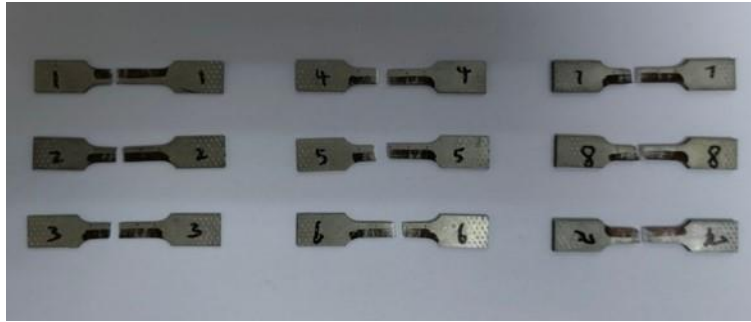


图3 铝合金室温拉伸试件尺寸

试验过程中，记录零件的应力-应变曲线等试验数据，通过数据分析，获得铝合金零件的重要力学性能参数，包括屈服强度、抗拉强度和断后伸长率，如下表所示。

表2 热处理前后铝合金室温拉伸试件力学性能

| 样品编号 | 屈服强度 $R_{p0.2}/\text{MPa}$ | 抗拉强度 R_m/MPa | 断后伸长率 $A/\%$ | 备注 |
|------|-------------------------------|--------------------------|-----------------|--|
| 1 | 296 | 323 | 6 | 热处理前，厚度 1.2mm， 应变速率 $10^{-3}/\text{s}$ |
| 2 | 298 | 322 | 8.5 | 热处理前，厚度 1.2mm， 应变速率 $5 \times 10^{-3}/\text{s}$ |
| 3 | 297 | 326 | 断在标外 | 热处理前，厚度 1.2mm， 应变速率 $10^{-2}/\text{s}$ |
| 4 | 280 | 307 | 7.5 | 热处理前，厚度 1.5mm， 应变速率 $10^{-3}/\text{s}$ |
| 5 | 278 | 308 | 10 | 热处理前，厚度 1.5mm， 应变速率 $5 \times 10^{-3}/\text{s}$ |
| 6 | 281 | 311 | 10.5 | 热处理前，厚度 1.5mm， 应变速率 $10^{-2}/\text{s}$ |
| 7 | 271 | 297 | 10 | 热处理前，厚度 2mm， 应变速率 $10^{-3}/\text{s}$ |
| 8 | 276 | 298 | 11.5 | 热处理前，厚度 2mm， 应变速率 $5 \times 10^{-3}/\text{s}$ |
| 9 | 275 | 294 | 8.5 | 热处理前，厚度 2mm， 应变速率 $10^{-2}/\text{s}$ |
| 10 | 547 | 595 | 15.0 | 热处理后，厚度 1.2mm， 应变速率 $10^{-3}/\text{s}$ |
| 11 | 541 | 596 | 15.0 | 热处理后，厚度 1.2mm， 应变速率 $5 \times 10^{-3}/\text{s}$ |
| 12 | 550 | 596 | 14.5 | 热处理后，厚度 1.2mm， 应变速率 $10^{-2}/\text{s}$ |
| 13 | 550 | 600 | 13.0 | 热处理后，厚度 1.5mm， |

| | | | | |
|----|-----|-----|------|--|
| | | | | 应变速率 $10^{-3}/s$ |
| 14 | 539 | 591 | 16.0 | 热处理后, 厚度 1.5mm, 应变速率 $5 \times 10^{-3}/s$ |
| 15 | 544 | 587 | 18.0 | 热处理后, 厚度 1.5mm, 应变速率 $10^{-2}/s$ |
| 16 | 551 | 604 | 14.0 | 热处理后, 厚度 2mm, 应变速率 $10^{-3}/s$ |
| 17 | 552 | 600 | 18.0 | 热处理后, 厚度 2mm, 应变速率 $5 \times 10^{-3}/s$ |
| 18 | 554 | 598 | 18.5 | 热处理后, 厚度 2mm, 应变速率 $10^{-2}/s$ |

由室温拉伸试验结果可知, 热处理后的铝合金板材相比热处理前, 其屈服强度、抗拉强度和断后伸长率均有显著提升, 其中相同厚度及应变速率条件下, 屈服强度最高可提升 203.32%, 抗拉强度最高可提升 203.4%, 断后伸长率最高可提升 250%。样品 3 由于拉伸试验时应变速率较快, 未获得有效的断后伸长率结果, 但热处理前后试样断后伸长率的变化趋势明显, 故不影响结论。

二、温热成形模具试制试验

通过采用拟制定的《铝合金板材温热成形技术规范》规定的模具结构设计要求, 结合 GB/T 2851《冲模滑动导向模架》、GB/T 2861.1《冲模导向装置 第 1 部分: 滑动导向导柱》、GB/T 2861.3《冲模导向装置 第 3 部分: 滑动导向导套》、GB/T 20914.1《冲模 氮气弹簧 第 1 部分: 通用规格》等相关标准, 以及相关的行业内模具设计及加工规范, 进行铝合金板材温热成形模具设计和试制, 模具加工实物图如下图所示。



图 4 铝合金板材温热成形模具加工实物

完成模具试制后,对模具进行动静态检查,检验模具是否合格,如下表所示。

由表可知,模具的各项检查内容合格,且符合标准,需采用该模具进行铝合金温热成形零件的试制,进行模具加工效果的进一步验证。

表 3 模具动静态检查表

| 序号 | 验收内容 | 验收方法及要求 | 是否合格 | |
|-----------|------|-------------------|-------------------------------------|---|
| 外观、安全及通用项 | 1 | 铸造文字、标识 | 文字、标识清晰,无缺失 | 是 |
| | 2 | 模具涂色,铭牌(各工序、顶杆铭牌) | 按照要求涂色,铭牌安装在正确位置 | 是 |
| | 3 | 模具闭合高度检查 | 按图纸要求 $\pm 5\text{mm}$ | 是 |
| | 4 | 模具外观 | 无铸造气孔、砂眼,型面无缺失 | 是 |
| | 5 | 压板槽尺寸、位置、数量 | 符合图纸及机床 | 是 |
| | 6 | 模具快速定位尺寸、位置 | 符合图纸及机床 | 是 |
| | 7 | 电气接头型号、电器盒位置 | 接头、颜色标识、位置满足要求,且不超出模具 | 是 |
| | 8 | 安全护板 | 一般下模活动部位安装,厚度 $\geq 2.0\text{mm}$ | 是 |
| | 9 | 吊耳、吊棒、起吊孔、铸造螺栓 | 尺寸规格符合要求,钢丝接触部 $R \geq 20\text{mm}$ | 是 |
| | 10 | 基准孔坐标 | 在长度方向有两 | 是 |

| | | | | |
|------|----|-------------|--|---|
| | | | 个基准孔，打上XYZ 坐标 | |
| | 11 | 模具存放块 | 采用空心、翻转式结构 | 是 |
| | 12 | 镶块搬运与起吊 | 大于 15kg 的镶块或拆卸不便的镶块设置起吊孔 | 是 |
| | 13 | 活动部件上的电、气路 | 与非活动部件之间用快速接头连接便于拆卸 | 是 |
| | 14 | 气管、电缆的保护、固定 | 线路要固定，电缆加保护套 | 是 |
| | 15 | 活动部件的编号 | 平衡块、镶块、定位等与模座对应刻钢印 | 是 |
| | 16 | 各种垫片 | 刻上厚度值、位置编号 | 是 |
| 导向 | 17 | 导向面粗糙度 | 导向面 Ra0.8，导入圆角光滑 | 是 |
| | 18 | 导向间隙 | 导柱/导套 0.03-0.05mm，导板 0.05-0.08mm | 是 |
| | 19 | 导向研合率 | 着色率≥85%，分布均匀 | 是 |
| | 20 | 导柱与导板的导向顺序 | 导板比导柱先导入 30-50mm | 是 |
| | 21 | 导板靠背 | 靠背有足够强度，与导板无间隙 | 是 |
| | 22 | 导板垫片 | 整体垫片数量少于 2 片，用螺钉固定在模具上 | 是 |
| | 23 | 导柱导套固定 | 导柱、导套都要有螺钉固定防拔出 | 是 |
| | 24 | 防呆设计 | 模座、压料器等在导向处设置防呆 | 是 |
| 工作型面 | 25 | 各种平衡块、镗死块 | 着色率≥90%，均匀。垫片做钢印标记 | 是 |
| | 26 | 镶块拼缝 | 无尖角，角度 $90 \pm 20^\circ$ ，间隙 $< 0.05\text{mm}$ | 是 |

| | | | | |
|---------|----|-----------------|---------------------------------------|---|
| | 27 | 镶块与安装面 | 着色率 $\geq 85\%$, 均匀。螺钉位置着色率 100%。 | 是 |
| | 28 | 镶块与模座靠背 | 无间隙, 如有垫片需要用螺钉锁在模座上 | 是 |
| | 29 | 工作型面表面质量 | 型面无铸造气孔、砂眼, 型面无缺失 | 是 |
| | 30 | 圆角和棱线硬度, 工作镶块硬度 | 铸件 HRC50-55, 镶块硬度 HRC55 以上 | 是 |
| | 31 | 压边圈与凹模研合率 | 拉延筋内的管理面 90% 以上, 其余面 85%, 均匀 | 是 |
| | 32 | 凸、凹模、压料芯研合率 | $\geq 85\%$, 分布均匀, 无硬点 | 是 |
| | 33 | 模具打开时是否带料 | 上模不能带料 | 是 |
| 弹性元件 | 34 | 刚性弹簧压缩量 | 最大 25% | 是 |
| | 35 | 弹簧导正销 | 定位长度大于弹簧长度的 50% | 是 |
| | 36 | 氮气弹簧垫块 | 需要热处理并用两个螺钉安装在压料器上 | 是 |
| | 37 | 氮气弹簧压缩量、气压 | 允许最大行程的 90%, 气压 $\leq 1800\text{PSI}$ | 是 |
| 拉延类 | 38 | 拉延参数 | 滑块压力: 200T; 气垫压力: 无 | 是 |
| | 39 | 顶杆位置及顶出高度检查 | 满足图纸与实际使用需求, 顶出高度无 | 是 |
| | 40 | 顶杆垫块 | 顶杆垫块需要热处理, 用两个螺钉固定 | 是 |
| | 41 | 拉延件毛坯大小控制 | 成品边缘在拉延筋外 5mm-10mm | 是 |
| 工件投入、取出 | 42 | 工件定位 | 工件定位可靠, 工作在型面上无窜动 | 是 |
| | 43 | 定位器调节量 | 向板料缩小方向有 10mm 以上调 | 是 |

| | | | | |
|--|----|-------|-------------------------|---|
| | | | 整量 | |
| | 44 | 顶出器 | 结构强度好, 工作平稳, 无干涉, 工件不变形 | 是 |
| | 45 | 工件的取出 | 取出顺畅不卡滞 | 是 |

三、温热成形零件试制试验

模具检验合格后, 结合拟制定标准及相关规范内容, 采用温热成形技术进行汽车用铝合金前地板座椅横梁的试制, 零件材料为 6000 系可热处理强化铝合金, 尺寸为 1950×670×500 mm, 厚度为 1.5mm。试制完成后, 经观察, 零件无起皱、开裂、大回弹等缺陷, 如下图所示。



图 5 铝合金前地板座椅横梁试制零件

对试制零件进行尺寸检测, 获得实物零件与目标模型的检测点位(实际值与名义值)在空间直角坐标系下三个轴向方向上的偏差, 如下表所示。由表可知, 零件各检测点实物与模型的偏差值均小于 0.05mm, 试制零件的尺寸精度满足检测要求, 同时验证了标准内容的合理性和可行性。

表 4 热成形零件偏差检测 (单位: mm)

| 序号 | 检测点 | 实际值 | 名义值 | 上公差 | 下公差 | 偏差 |
|----|---------|----------|----------|--------|---------|---------|
| 1 | X-值_点 2 | 23.2905 | 23.3000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0095 |
| 2 | Y-值_点 2 | 69.1945 | 69.2000 | 0.1500 | -0.1500 | -0.0055 |
| 3 | Z-值_点 2 | -28.4932 | -28.5000 | 0.1000 | -0.1000 | 0.0068 |
| 4 | X-值_点 3 | 29.0703 | 29.1000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0297 |

| | | | | | | |
|----|----------|-----------|-----------|--------|---------|---------|
| 5 | Y-值_点 3 | -52.4639 | -52.5000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0361 |
| 6 | Z-值_点 3 | -28.6227 | -28.6000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0227 |
| 7 | X-值_点 4 | -80.8667 | -80.9000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0333 |
| 8 | Y-值_点 4 | 5.1305 | 5.1000 | 0.0500 | -0.0500 | 0.0305 |
| 9 | Z-值_点 4 | -9.3497 | -9.3000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0497 |
| 10 | X-值_点 5 | -87.2509 | -87.3000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0491 |
| 11 | Y-值_点 5 | -20.6615 | -20.7000 | 0.1000 | -0.1000 | 0.0385 |
| 12 | Z-值_点 5 | -16.5274 | -16.5000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0274 |
| 13 | X-值_点 6 | -193.2659 | -193.3000 | 0.2000 | -0.2000 | 0.0341 |
| 14 | Y-值_点 6 | 20.6520 | 20.7000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0480 |
| 15 | Z-值_点 6 | -8.8205 | -8.8000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0205 |
| 16 | X-值_点 7 | -193.7438 | -193.7000 | 0.2000 | -0.2000 | -0.0438 |
| 17 | Y-值_点 7 | -0.9216 | -0.9000 | 0.0500 | -0.0500 | -0.0216 |
| 18 | Z-值_点 7 | -17.3067 | -17.3000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0067 |
| 19 | X-值_点 8 | -254.8477 | -254.8000 | 0.2000 | -0.2000 | -0.0477 |
| 20 | Y-值_点 8 | 19.5454 | 19.5000 | 0.1000 | -0.1000 | 0.0454 |
| 21 | Z-值_点 8 | -17.4168 | -17.4000 | 0.1000 | -0.1000 | -0.0168 |
| 22 | X-值_点 9 | -434.5532 | -434.6000 | 0.3000 | -0.3000 | 0.0468 |
| 23 | Y-值_点 9 | 29.2102 | 29.2000 | 0.1000 | -0.1000 | 0.0102 |
| 24 | Z-值_点 9 | -47.7060 | -47.7000 | 0.1500 | -0.1500 | -0.0060 |
| 25 | X-值_点 10 | -560.5527 | -560.6000 | 0.3000 | -0.3000 | 0.0473 |
| 26 | Y-值_点 10 | 30.1237 | 30.1000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0237 |
| 27 | Z-值_点 10 | -93.6558 | -93.7000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0442 |
| 28 | X-值_点 11 | -612.5093 | -612.5000 | 0.3000 | -0.3000 | -0.0093 |
| 29 | Y-值_点 11 | 84.6951 | 84.7000 | 0.1500 | -0.1500 | -0.0049 |
| 30 | Z-值_点 11 | -117.9922 | -118.0000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0078 |
| 31 | X-值_点 12 | -603.4494 | -603.4000 | 0.3000 | -0.3000 | -0.0494 |
| 32 | Y-值_点 12 | -10.1716 | -10.2000 | 0.1000 | -0.1000 | 0.0284 |
| 33 | Z-值_点 12 | -118.1576 | -118.2000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0424 |
| 34 | X-值_点 13 | -603.4594 | -603.5000 | 0.3000 | -0.3000 | 0.0406 |
| 35 | Y-值_点 13 | -10.1622 | -10.2000 | 0.1000 | -0.1000 | 0.0378 |
| 36 | Z-值_点 13 | -118.1624 | -118.2000 | 0.1500 | -0.1500 | 0.0376 |