

铝梯专用型材研制的校企合作



案例制作：林高用 教授

中南大学材料科学与工程学院

内容提纲

- ◆ 案例来源与背景
- ◆ 案例涉及的理论与技术问题
- ◆ 案例带来的启发与思考

◆ 案例来源与背景

➤ 案例来源：福建某铝业公司

➤ 案例背景：

该公司是一家大型特种铝材生产的民营企业，其铝梯产品主要出口美国和欧洲。铝梯结构设计属于美国专利。

这种家用铝梯大约6kg，比国内使用的铝梯至少重2~3kg，承载力大20~40kg。

铝梯不是按重量卖，而是按数量卖。如果能够通过提高铝梯型材的质量，在保证承载能力的情况下减轻每架铝梯的重量，则可产生明显效益。



◆ 案例来源与背景

➤ 案例背景：

基于“**以强度换重量**”的思路，该公司专门立项开展“铝梯专用型材的研制”项目研发。在校友帮助下，我们拿到了该项目的研发任务，合同经费共计**25万元**；首付**15万元**；一年内完成，提交报告后再付**10万元**。

实际上，公司的基本要求是：就在公司已有铝梯型材基础上，通过工艺优化，使型材强度性能提高10%以上，而塑性指标保持不变或有提高。由此，他们就可将铝梯型材的壁厚减小10%，从而使铝梯整体重量减小10%左右，实现**降本增效**的目标。

◆ 案例涉及的理论与技术问题

➤ 铝梯材料

主要包括上脚踏板、立料（两层）、连接板、锁扣等。

上脚踏板：XL603（相当于6063铝合金）。

立料：XL601（相当于6061铝合金）。

连接板和锁扣：XL601

XL603上脚踏板强度较低，但有非常好的塑性，适合与立料的翻孔铆接。

XL601立料和连接板强度较高，以保证铝梯的承载力。



上脚踏板：XL603



◆ 案例涉及的理论与技术问题

➤ 解决方案

根据公司要求，为了保证合金具有良好挤压性能，不能大幅度改变合金成分，于是我们以6xxx系铝合金为基础，优化和选择了一种接近6082铝合金的成分配比（被命名为XL608），并从三个方面进行工艺优化：

（1）均匀化热处理+趁热挤压。此前，公司对XL603和XL601均未进行均匀化处理，主要是为了降低成本和减少挤压粗晶环。我们的方案是将挤压加热与均匀化处理合并一体，通过提高加热温度，并适当增加保温时间达到均匀化目的。此方案成本增加甚微。

（2）加大[在线淬火](#)冷却强度。XL601-T5和XL608-T5均采用在线水冷淬火，但以往的冷却强度不够。我们提出将[水冷区前移](#)的方案。

6xxx系铝合金是热处理可强化合金，只有通过“[固溶+淬火+时效](#)”，才能使合金获得足够高的强度性能。固溶不充分，或淬火冷却速度慢导致高温脱溶，都将降低时效后的强度。

（3）优化人工时效工艺。我们通过系统的试验进行优化，未给公司增加任何成本。

◆ 案例涉及的理论与技术问题

➤ 技术指标

XL603-T5: $\sigma_b=200\sim220\text{MPa}$, $\sigma_s=140\sim180\text{MPa}$, $\delta=15\sim20\%$

XL601-T5: $\sigma_b=260\sim290\text{MPa}$, $\sigma_s=220\sim240\text{MPa}$, $\delta=10\sim12\%$

XL608-T5: $\sigma_b=320\sim330\text{MPa}$, $\sigma_s=260\sim280\text{MPa}$, $\delta=10\sim13\%$

XL608-T5在XL601-T5基础上，强度性能提高18%，塑性相当；

XL608与XL601的挤压性能和淬火敏感性几乎一样；

综合加工成本，XL608-T5几乎与XL601-T5相同。

超额完成了项目合同规定的所有指标。

其后，公司修改模具设计，将新研制的XL608-T5立料型材壁厚减小约10%，上脚踏板仍采用XL603-T5。将组装的铝梯提供给用户检测，结果是：不合格！

◆ 案例涉及的理论与技术问题

➤ 关键问题：项目设计错误！

- ✓ 用户对铝梯有多项检测指标，但对承载能力的检测，主要测的是铝梯受力条件下的**弹性变形量**！这是**刚度**问题，不是**强度**问题！
- ✓ **强度**表征材料或构件抵抗破坏的能力，**刚度**表征材料或构件抵抗变形（尤其是弹性变形）的能力。

金属材料的刚度参数主要是杨氏模量E，该参数强烈依赖合金成分，与状态（或加工工艺）关联性低。本项目虽然通过工艺优化使强度（主要是屈服强度）得到提高，但因为成分配比变化小，所以杨氏模量E提高幅度不超过1%。当型材壁厚减小10%时，铝梯结构刚度自然会降低，在同样承载条件下弹性变形增大，从而不能通过用户检测。

- ✓ 可见，从一开始，“**以强度换重量**”的项目设计思路就是错误的！最先我们并不知道用户的检测方法，所以没有想到项目的设计思路有问题。
- ✓ “**以刚度换重量**”则是正确的。但要提高铝合金材料的刚度，则必须改变合金成分，例如：选择7005铝合金，杨氏模量可由6061铝合金的68GPa提高到71GPa，且强度有较大幅度提高，但挤压和焊合性能显著下降。
- ✓ 项目合作出现严重问题，无法结题！**怎么办**？实际上我们已超额完成合同规定的各项指标，如果诉诸法律，我们肯定可以赢得官司，要回10万元尾款，但必然会使学校与企业的关系，且耗时伤神。我们没有**走法律程序**，但也未放弃！

◆ 案例涉及的理论与技术问题

➤ 解决措施

选择 XL605 (相当于6105) , 并优化其制备工艺。

XL605-T5: $\sigma_b=250\sim280\text{MPa}$, $\sigma_s=210\sim230\text{MPa}$, $\delta=10\sim14\%$

XL601-T5: $\sigma_b=260\sim290\text{MPa}$, $\sigma_s=220\sim240\text{MPa}$, $\delta=10\sim12\%$

比较:

- ①XL605-T5与XL601-T5的强度、塑性相当;
- ②XL605与XL601的挤压性能和淬火敏感性几乎一样;
- ③XL605铸锭价格比XL601铸锭低5%左右;
- ④XL605-T5型材不需要在线水冷淬火, 风冷即可;
- ⑤XL605比XL601挤压速度更快;
- ⑥XL605时效时间比XL601缩短4个小时。

因此, 以XL605-T5替代XL601-T5制作铝梯立料, 在不减小型材壁厚的情况下, 铝梯综合成本降低12~15%, 超过原来的预期效益。

◆ 案例涉及的理论与技术问题

➤ 解决措施

XL605（相当于6105）也是一种低合金化的 Al-Mg-Si系合金，因为合金成分比XL601更简单，所以具有更优的综合性能。通过我们的系统试验，优化了其人工时效工艺，使其力学性能得到稳定。

由XL605-T5制作的铝梯，经用户测试，各项指标均达到要求。

由此项目得以顺利结题，结余的10万元经费成功到账。

➤ 后续合作

得到公司信任后得以继续合作。我们其后为公司完成的主要工作：

2016年，我们又协助该公司以XL605为主题，成功申报福州市的政府资助项目1项，获得30万元资助经费；

2017年，在我们的建议下，针对高强度铝梯，公司选择了7005铝合金（改进后命名为XL705），并实现了该合金的分流挤压和在线淬火。现在这类高强度铝梯已出口欧洲。

现在该公司已成为宁德时代新能源汽车[电池托盘](#)的主要供货商。这种电池托盘就是采用XL705铝型材组合焊接而成。

◆ 案例带来的启发与思考

➤ 专业人员一定要深刻理解基本概念和基本原理

本案例最为突出的特点是，我们针对一个错误的命题开展了一次科研！错误来源于企业工程师缺乏对基本力学概念和基本原理的理解。本案例还涉及的基本力学概念包括：强度、刚度、杨氏模量、结构刚度、弹性变形等等。

➤ 企业降本增效的途径有多种

从节省材料、提高性能、简化工艺、缩短工艺流程、提高工模具使用寿命、提高成材率等方面都可以达到目的。

➤ 产学研合作需要灵活性

不能解决企业的根本问题，合作都将是“一锤子买卖”，难以持续。指望通过打官司弄回结余经费，那绝对是愚蠢的做法！

➤ 解决企业技术问题还得靠扎实的理论基础

我们的团队之所以能够取得企业的信任，长期与企业开展合作，主要原因还是我们具有扎实的理论基础，从而能够指导企业解决具体技术难题。同样，我们的许多优秀校友在企业能够获得很好的发展，成为业内顶级专家，靠的也是不断夯实理论基础，不断积累实践经验。



谢 谢！

