

学校编码: 10384

密级\_\_\_\_\_

学号: X2012193012

# 厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

## 8079 高精铝箔坯料的熔铸与 热轧的组织及其工艺性能研究

Study on Microstructure and properties of  
melting and casting and hot rolling process  
of 8079 high precision aluminum foil stock

吴天华

指导教师姓名: 刘兴军 教授

王建国 高工

专 业 名 称: 材料工程

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩日期: 2015 年 5 月

2015 年 4 月

8079 高精铝箔坯料的熔铸与热轧的组织及其工艺性能研究

吴天华

指导教师

刘兴军

教授

厦门大学

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

## 摘要

本文以 8079 高精铝箔坯料的工艺流程为主线, 结合自身在 A 公司近 20 年的工作经验和材料科学理论, 采用 ICP、Alscan 在线测氢、金相显微分析、拉伸试验、TEM、SEM、EDS 和离线板形检测仪等现代材料分析测试技术, 同时运用 SPSS 软件对测试数据进行统计分析, 研究不同制备工艺对铸造组织、均热组织和热轧形变组织的形成规律, 以改善 8079 高精铝板坯的轧制性能和力学性能, 使国内企业早日用 8079 合金替代 1235 合金生产高品质的双零铝箔提供应用数据, 具有一定的理论和实际应用价值。研究工作及结果如下:

(1) 优化 8079 的成分, 测试铝板坯的轧制性能和力学性能, 采用 SPSS 软件分析测试数据, 研究成分对性能的影响程度, 结果表明: Fe 对抗拉强度的正向影响系数为 49.28, 其它元素影响不显著, 经验回归方程是  $R_m=96.991+49.28Fe$ 。

(2) 根据不同季节的气候湿度变化, 调整 SNIFF 的氩气流量与转子转速的搭配, 测量除气效率和除气后的氢含量, 并用 SPSS 软件画出参考曲线, 实现了比较好的精炼效果, 除气效率 65% 以上, 除气后的氢含量 0.12ml/100gAl 以下。

(3) 研究氢对铝箔边部针孔、轧制性能和力学性能的影响, 以及氢在扁锭小面边部集聚的原因; 结果表明: 在扁锭铸造过程中, 由于受到铝液浇注形成的液穴形状和湍流的影响, 导致氢聚集在扁锭小面边部。

(4) 研究晶粒细化剂添加量对 8079 合金组织的影响, 运用 SPSS 软件分析细化剂用量、晶粒度和力学性能的相关关系, 结果表明: ①只有将晶粒控制在合适范围内才有利于提高轧制性能; ②细化剂用量的最佳范围为 0.974~1.122kg/t。

(5) 调整 8079 合金的均匀化退火温度和时间, 研究扁锭内的质点扩散、相变、化合物熔化、枝晶熔断、晶粒度等微观组织的变化规律, 确定了可供企业设备条件进行选择的最佳均匀化退火工艺:  $530^{\circ}\text{C} \times 15\text{h}$ 、 $560^{\circ}\text{C} \times 8\text{h}$  或者  $600^{\circ}\text{C} \times 5\text{h}$ 。

(6) 调整热轧温度、速度和道次分配量等参数, 研究晶粒破碎后再结晶的晶粒大小、第二相形态、数量和分布等微观组织演变规律, 得出的最佳工艺是: 开轧温度  $510^{\circ}\text{C}$ , 终轧温度  $340^{\circ}\text{C}$ , 热精轧的压下量分别为 13mm、6.5mm、2.5mm, 轧制速度为 2.5m/s、4.5m/s、5.5m/s。

**关键词:** 铝箔坯料; 细化晶粒; 显微组织; 性能;

## Abstract

This paper takes the process of 8079 high precision aluminum foil stock as the main line of research based on 20 years of experience working in the company and material science theory, using ICP, Alscan online analysis and testing technology for hydrogen measurement, metallographic analysis, tensile test, TEM, SEM, EDS, off-line plate shape detector and other modern materials analysis and testing technology. At the same time, this paper also studies the formation law of different preparation processes of casting microstructure, homogenization microstructure and hot rolling deformation microstructure, by using the software SPSS statistical analysis on test data in order to improve the rolling performance and mechanical properties of 8079 high precision aluminum slab. In addition, this very paper has a certain theoretical and actual value to provide the application data for domestic enterprises to produce high-quality double zero aluminum foil by using 8079 alloy instead of 1235 alloy as soon as possible. The specific research work and its results are as follows:

- (1) Through optimizing the 8079 components, testing the rolling performance and mechanical properties of aluminum slab, analyzing the test data by SPSS software and studying the influence degree of components on the properties, the result obtained is that the positive influence coefficient Fe has on tensile strength is 49.28 while other elements are not significantly affected. And the experienced regression equation is  $\sigma_b = 96.991 + 49.28Fe$ .
- (2) Measure the degassing efficiency and the hydrogen content after degassing by adjusting the collocation between the argon flow rate and the rotating speed of the rotor based on different climate humidity in different seasons. By drawing a reference curve using SPSS software, the degassing efficiency we got is more than 65% and the content of hydrogen is below 0.12ml/100g(Al) after degassing. Thus good refining effect is obtained.
- (3) It is studied that the hydrogen in the ingot has important effect on mechanical properties, aluminum foil edge pinhole, rolling performance and reasons of hydrogen agglomeration in flat ingot facet edge has also been done. It was found that the hydrogen gathering in the flat ingot facet edge was caused by the influence of sump shape and turbulence formed by aluminum casting during the

casting of slab.

- (4) Through the study of effect of the amount of grain refiner added to the microstructure of 8079 alloy, the grain size and mechanical properties was done.

Analysis by using the SPSS software found the following results:

- ① Only when the grain size is controlled in an appropriate range, can the performance of rolling and mechanical properties be improved.
- ② The optimal range of the amount of aluminum titanium boron filaments added is 0.974 ~ 1.122kg/t.
- (5) Study the 8079 alloy flat ingot homogenizing annealing temperature and time , test and analyze the particle diffusion, phase transformation, dendrite remelting, grain size, the law of change of such microstructure as grain size etc. in the flat ingot. It is confirmed that the optimal homogenizing annealing process suitable for the equipments conditions of the enterprises for the enterprises to choose from is 530°C \* 15 hours, 560°C \* 8 hours or 600°C \* 5hours.
- (6) Adjust such parameters as that of the hot rolling temperature, speed and rolling reduction allocation quantity etc. Study the evolution law of thermal deformation of 8079 microstructure. Test and analyze such as microstructure, grain crushing and the recrystallized grain size, second phase morphology, number and distribution of microstructure etc. The optimum process was obtained as follows:
  - ① The start rolling temperature is 510°C. The finished rolling temperature is 340°C;
  - ② The reduction amount for hot finishing rolling is 13mm, 6.5mm and 2.5mm respectively;
  - ③ The rolling speed is 2.5m/s, 4.5m/s and 5.5m/s respectively;

**Keywords:** Sheets for aluminum foil; Microstructure; Grain refining; Performance;

# 目 录

厦门大学学位论文原创性声明 .....	3
厦门大学学位论文著作权使用声明 .....	4
摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	IV
CONTENTS.....	VII
<b>第一章 绪论 .....</b>	<b>1</b>
1.1 铝及铝合金的发展现状.....	1
1.2 铝及铝合金的特性.....	2
1.3 铝合金的分类及交货状态.....	4
1.3.1 铝合金的分类.....	4
1.3.2 铝合金的交货状态.....	5
1.4 影响 8079 铝箔坯料质量的主要因素.....	6
1.4.1 化学成分及其化合物的影响.....	6
1.4.2 扁锭质量的影响.....	10
1.4.3 轧制及中间退火工艺.....	11
1.4.4 8079 合金的微观组织与性能.....	14
1.5 高精 8079 铝箔坯料的生产工艺现状及发展前景.....	15
1.6 选题意义及研究内容.....	17
1.6.1 选题意义.....	17
1.6.2 研究内容.....	18
<b>第二章 样品制备与试验研究方法 .....</b>	<b>19</b>
2.1 试验工艺及技术路线.....	19
2.2 试验材料及其样品制备.....	20
2.2.1 试验用原料与化学成分设计.....	20



2.2.2 铝合金熔炼与大扁锭铸造组织 .....	20
2.2.3 铝合金扁锭均匀化与热轧组织 .....	21
<b>2.3 试验检测与分析方法 .....</b>	<b>22</b>
2.3.1 化学成分分析 .....	22
2.3.2 氢含量的检测与分析 .....	22
2.3.3 偏光金相显微 (POM) 组织观察与分析 .....	23
2.3.4 SEM 观察及 EDS 分析 .....	24
2.3.5 TEM 观察 .....	24
2.3.6 性能检测 .....	25
<b>2.4 本章小结 .....</b>	<b>25</b>
<b>第三章 铸造 8079 大扁锭的铝熔体处理工艺研究 .....</b>	<b>26</b>
3.1 引言 .....	26
3.2 8079 铝熔体合金化处理工艺研究 .....	26
3.3 8079 铝液精炼除气技术研究 .....	31
3.3.1 铝合金中的气体存在形态及其主要来源 .....	31
3.3.2 铝合金中的夹渣及其危害 .....	33
3.3.3 铝液的净化原理 .....	35
3.3.4 8079 铝合金液体的净化除气技术 .....	38
3.3.5 8079 铝合扁锭的氢含量对铝箔轧制的影响研究 .....	40
3.4 8079 铝合扁锭的晶粒细化处理技术研究 .....	45
3.4.1 铝合金晶粒组织对其加工性能的影响 .....	45
3.4.2 铝合金扁锭的晶粒细化机理及常用方法 .....	46
3.4.3 8079 铝合金扁锭的晶粒细化工艺研究 .....	47
3.5 本章小结 .....	53
<b>第四章 8079 扁锭均匀化及其热轧的工艺性能研究 .....</b>	<b>54</b>
4.1 引言 .....	54
4.2 8079 铝合金大扁锭均匀化退火的组织变化 .....	55
4.2.1 均匀化退火的动力学分析 .....	55
4.2.2 均匀化退火对 8079 合金内部组织的影响 .....	55
4.2.2.1 均匀化退火前/后的 8079 合金组织晶粒度的变化分析 .....	57
4.2.2.2 扁锭均匀化处理前的原始组织 .....	58

4.2.2.3 不同均匀化工艺处理后的扁锭微观组织比对 .....	60
4.2.2.4 高温均匀化处理前/后的扁锭组织的 SEM 比对分析 .....	62
<b>4.3 8079 铝合金热轧动态回复与动态再结晶组织.....</b>	<b>63</b>
4.3.1 热轧工艺对 8079 合金组织及其性能的影响 .....	63
4.3.2 热轧温度对 8079 合金组织和性能的影响 .....	64
4.3.3 热轧道次压下量和速度对 8079 合金组织及其性能的影响 .....	69
4.4 本章小结 .....	71
<b>第五章 结论与展望 .....</b>	<b>73</b>
5.1 主要结论 .....	73
5.2 展望.....	74
<b>参 考 文 献 .....</b>	<b>75</b>
<b>致 谢.....</b>	<b>76</b>

# CONTENTS

<b>Abstract in Chinese .....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>II</b>
<b>Contents in Chinese .....</b>	<b>IV</b>
<b>Contents .....</b>	<b>VII</b>
<b>Chapter 1 Introduction .....</b>	<b>1</b>
1.1 The current situation of the development of aluminum and aluminum alloy .....	1
1.2 Characteristics of aluminum and aluminum alloy .....	2
1.3 Classification of aluminum alloy and delivery status.....	4
1.3.1 Classification of aluminum alloy.....	4
1.3.2 Aluminum alloy in the condition of delivery .....	5
1.4 Main factors affecting the 8079 aluminum foil stock .....	6
1.4.1 Effect of chemical composition and its compounds.....	6
1.4.2 Effect of flat ingot quality .....	10
1.4.3 Rolling and annealing process.....	11
1.4.4 Microstructure and properties of 8079 aluminum alloy .....	14
1.5 Present situation of production technology and development prospect of high precision 8079 aluminum foil stock .....	15
1.6 Significance and major contents of this work .....	17
1.6.1 Significance of this work.....	17
1.6.2 Major contents of this work.....	18
<b>Chapter 2 Preparation of specimen and experimental research methods.....</b>	<b>19</b>
2.1 Test technology and technical route .....	19
2.2 Test materials and sample preparation .....	20
2.2.1 Raw materials and chemical composition design of test.....	20

2.2.2 Aluminum alloy smelting and ingot casting microstructure .....	20
2.2.3 Aluminum alloy flat ingot homogenization and hot rolling microstructure....	21
2.3 Detection and analysis methods of test .....	22
2.3.1 Chemical composition analysis .....	22
2.3.2 Detection and analysis of hydrogen content.....	22
2.3.3 Polarized optical metallographic (POM) observation and analysis .....	23
2.3.4 SEM observation and EDS analysis .....	24
2.3.5 TEM observation .....	24
2.3.6 Performance test .....	25
2.4 Summary this chapter .....	25
<b>Chapter 3 Study of aluminum melt treatment process of 8079 ingot casting.....</b>	<b>26</b>
3.1 Introduction .....	26
3.2 Study on the technology of processing 8079 aluminum alloy melt .....	26
3.3 8079 aluminum melt refining and degassing technology.....	31
3.3.1 Gas exists in aluminium alloy forms and their main sources .....	31
3.3.2 Non metallic inclusions and its harm in aluminium alloy.....	33
3.3.3 Cleaning principle of aluminum alloy melt.....	35
3.3.4 Study of 8079 aluminum alloy melt purification technology.....	38
3.3.5 Study of hydrogen content in 8079 alloy flat ingot influence on aluminum foil rolling .....	40
3.4 Study on the grain refining technology of 8079 aluminum ingot .....	45
3.4.1 Effect of grain structure of alloy on its machining performance.....	45
3.4.2 Aluminum alloy flat ingot grain refinement mechanism and the common methods .....	46
3.4.3 Study on grain refinement process of 8079 aluminum alloy flat ingot .....	47
3.5 Summary this chapter .....	53
<b>Chapter 4 Study of 8079 aluminum alloy flat ingot process and performance of homogenization and its hot rolling .....</b>	<b>54</b>
4.1 Introduction .....	54
4.2 Microstructure variation of 8079 aluminum alloy ingot during homogenizing	

annealing .....	55
4.2.1 Analysis of homogenizing annealing kinetics.....	55
4.2.2 Effect of 8079 alloy homogenization annealing on the internal microstructure .....	55
4.2.2.1 Analysis of grain size variation of 8079 alloy structure before/after homogenization annealing.....	57
4.2.2.2 The original microstructure before flat ingot homogenization annealing....	58
4.2.2.3 The flat ingot microstructure comparison after different homogenization annealing processes .....	60
4.2.2.4 Analysis and microstructure comparison of SEM before/after high temperature homogenization .....	62
4.3 Analysis of dynamic recovery and dynamic recrystallization during hot rolling 8079 aluminum alloy.....	63
4.3.1 Effect of hot rolling process on the microstructure of 8079 alloy and its properties .....	63
4.3.2 Effect of hot rolling temperature on microstructure and properties of 8079 alloy .....	64
4.3.3 Effect of hot rolling reduction in pass and speed on the microstructure and property of 8079 alloy .....	69
4.4 Summary this chapter .....	71
<b>Chapter 5 Conclusion and Prospect.....</b>	<b>73</b>
5.1 Main conclusions.....	73
5.2 Prospect.....	74
<b>References.....</b>	<b>75</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>76</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 铝及铝合金的发展现状

铝资源丰富，生产成本低。在 124 个产业中<sup>[1]</sup>，有 112 个部门使用铝质产品，占比 90% 以上。其中在 102 个物资生产部门中，有 96 个部门消耗铝加工产品，占比 95%。

铝在自然界中的含量仅次于氧和硅，世界上铝土矿资源总量约为 400-500 亿吨，中国已探明的铝矿主要分布于河南、山西、贵州、山东、广西、甘肃等地。地壳中含有铝矿物质达 200 多种，最常见的是铝硅酸盐和它的风化产物，它是以氧化铝水合物为主要成分的矿物质，是冶金行业的主要炼铝原料。1886 年美国大学生豪尔和法国大学生埃罗两位青年化学家分别独立地用电解法制铝获得成功，使铝制品成为普通商品。

中国的主要电解铝厂是包头铝、青海铝、兰州铝、贵州铝、广西苹果铝、山西河津铝、河南万基。中国主要铝加工厂有西南铝业集团、瑞闽铝、南山铝、山东魏桥、忠旺集团、亚洲铝、厦顺铝箔、渤海铝、东北轻合金加工厂等。世界上铝的主要生产国为美国、俄罗斯、加拿大、中国、澳大利亚、巴西等。世界上主要铝加工厂有美国铝业、加拿大铝业、俄罗斯铝业、德国 Alunorf、日本神户、中国铝业等。

铝板带是铝加工业的主体。据中国有色金属协会统计数据，我国有色金属制造和压延加工的固定资产投资额在“十一五”期间累计完成 3700 亿元，年平均增幅 45%；“十二五”前 3 年完成的投资总额 7373 亿元，相当于“十一五”5 年的两倍；2013 年国内电解铝产能为 3200 万吨，比 2012 年增加 400 多万吨；2014 年初又发布信息称：“目前新疆、内蒙古等电力成本低，电解铝产能西移步伐仍在加快，国内电解铝产能未来几年仍将处于高位运行。”

原铝产能过剩，而继原铝之后，我国的铝加工产能也已经显现过剩。近几年来，我国铝加工材产量已跃居世界第一，初步实现了做大的目标。就铝箔而言，2013 年国内铝箔产能达 400 万吨，产量为 300 万吨，而产能的实际利用率则还不到 80%。

尽管铝材加工总体产能过剩，但高端铝材却依赖进口。中国有色金属协会数据显示，2003 年中国铝箔出口价为每吨 3300 美元，进口价为每吨 5800 美元，即进口铝箔的价值是出口铝箔的 1.76 倍；2010 年中国出口铝材 218 万吨，铝材出口价格为每吨 3400 美元，进口价格为每吨 5700 美元；2011 年出口铝箔每吨 4180 美元，进口铝箔每吨 20100 美元，即进口 1 吨铝箔价格相当于出口 4.8 吨铝箔的价格。

中国每年低价出口大量中低端铝材，高价进口高端铝材，而两种铝材价格相差悬殊。2012 年 5 月由国家工信部、国家发改委、国家财政部联合发布的《高端装备制造业“十二五”发展规划》便提出，今年我国高端装备的销售额占装备制造业的比例需达 20%。就在 2012 年同一年，国家还发布《新材料产业“十二五”规划》等众多行业政策，要求中国铝加工业要从“做大”向“做强”转型，要加强企业自主研发能力，大力发展铝精、深加工产品，鼓励铝加工业进一步向下游产业链延伸，形成进口替代能力。这对大力发展高端铝加工产品的国内企业是实质性利好，铝加工企业在寻求突围的方向，不断加大研发力度，走转型升级道路，进军高端铝制产品，以迎合用户对高档产品的市场前景。

“我愿为你摘下天上的每颗星星，我愿为你擦去脸上的每颗泪滴”。铝加工企业都在寻求提高技术含量、走高附加值路线，但是，谁能掌握高精铝板、带、箔及大型铝合金异型材等生产先进工艺，并在铝材市场中开垦出适合企业自身，真正属于自己的蓝海，走出自己的梦，则仍然面临着技术、资金、管理等诸多壁垒，尤其是重重技术壁垒，目前难以突破。

### 1.2 铝及铝合金的特性

纯铝具有面心立方点阵，无同素异构转变，无毒无味，弹性小，质量轻，比强度高，耐蚀耐候性好，优良的导电导热性，无磁性，有吸声性，光学性能佳，对光、电波、热的反射率高，高韧性，易加工成型，可焊接、可铆接、可胶合，表面美观，对环境友好，可回收性强，具有一系列的优良特性，用途甚广。

纯铝在常温下的密度为 2.7 克/立方厘米，熔点对其纯度较为敏感，纯度 99.9% 的铝在常压下的熔点为 660.4<sup>o</sup>C，沸点为 2467<sup>o</sup>C，最大速度为每秒钟蒸发 7.0x10<sup>12</sup> 个铝原子，超过这一速度则会发生爆炸危险。铝导电性能仅次于铜，铝

的纯度为 99.99% 在 200 °C 的电阻率为  $2.65 \times 10^{-8}$  欧姆·M，等体积的电导率为 64.9% IACS<sup>[1]</sup>。

铝的价格比普通碳钢的要高一些，但铝不会生锈，易于重熔回收使用，是地球上可循环利用的资源之一。铝为人类所用的优良特性主要体现在以下几个方面<sup>[1-5]</sup>：(1)成形性，利用成形加工并配合适当温度和时间的退火加工处理，变成软合金，适合多种成形加工，如铝合金车轮圈、炊事用具、热交换器、LED 灯具、铝电容器外壳、铝合金锅等；(2)强度高，利用合金化熔炼、轧制，并配之热处理，便可加工不同强硬度等级的产品，例如，用在电容器和包装业的 0.006mm 厚的铝箔，在 O 态（软状态）的抗拉强度达 75MPa 左右；(3)轻量性，铝的比重只有钢铁的三分之一；(4)耐蚀性，在自然环境中铝表层自发形成的致密  $Al_2O_3$  薄膜能有效阻止强氧化性物质往深层氧化，耐蚀性好；铝表面若经铬酸粗化和涂覆有机高分子等表面技术处理，则耐蚀性更强，可适合于室内外较为恶劣的环境中使用；(5)表面加工性，铝合金的表面处理包括电解阳极氧化、铬酸表面钝化、涂覆有机物及电镀等技术，电解阳极氧化还可产生不同颜色和硬度的薄膜，色泽均匀美观，用途甚广；(6)导电性，同形状同体积的铝的导电率约为铜的百分之六十，但铝的重量也是铜的三分之一，铝的价格比铜便宜五倍左右；(7)导热性，铝的导热性好，在家庭厨具、散热片等应用甚广；(8)易加工成型性，铝可加工成棒、管、线、罐和各种挤型材；(9)切削性，铝型材可用钢锯直接锯切，强度较高的铝合金的切削性较佳，与钢铁比较可节省高达 70% 左右的能耗；(10)焊接性，高纯铝及铝镁合金的熔接性好，在特殊环境下的高强度结构体及轮船的应用方面占有特殊的地位，铝箔可直接用超声波焊接；(11)无低温脆性，铝在超低温的条件下不存在一般碳钢的低温脆性问题，可适用于低温设备、船舶、航空、航天、导弹等部件；(12)无毒无味性，铝无毒无味，在食品包装行业的应用非常广泛，如铝箔包装袋、铝箔速食容器及五金家庭厨具上的应用很多，尤其是铝箔食品包装方面；(13)再生性，铝的价格比一般碳钢高，但易于回收重熔使用；(14)无磁性，铝是顺磁材料，本身无磁性，不产生磁性反应，不受电磁场影响，适用于非磁性的各种机械电器；(15)吸音性，铝对声音是非传播体，有吸收声波的性能，是理想的音乐厅隔音装饰材料；(16)储能性，用铝箔做介电物质的电容器可以存储一定量的电荷和电能，因此，电容器用的铝箔被称作是一种功能材料；(17)反射性，光亮的铝表面能有效反射光、



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.