

钢背铝20锡

自润滑复合板材的成形

张 鹏 著

FORMING OF
STEEL-AL20Sn SELF-LUBRICATING
PLATE



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>

钢背铝 20 锡 自润滑复合板材的成形

张 鹏 著

北京交通大学出版社

• 北 京 •

内 容 简 介

本书分为绪论、固液相浸镀复合成形、半固态复合成形等3章, 主要围绕复合工艺、界面结构、界面性能等较为系统地介绍了钢背铝20锡自润滑复合板材的常规固固相复合成形、常规固液相复合成形、固液相浸镀铸轧复合成形、非平衡固液相浸镀复合成形、半固态复合成形等内容。

本书不仅适合于钢背铝20锡自润滑复合板材研究人员阅读, 也可作为从事复合材料研究的科技人员和材料类专业的本专科学生与研究生的参考书。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

钢背铝20锡自润滑复合板材的成形/张鹏著. —北京: 北京交通大学出版社, 2007.3

ISBN 978-7-81082-953-3

I. 钢… II. 张… III. 自润滑-钢板: 复合板-板材轧制
IV. TG335.81

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第019439号

责任编辑: 王晓春

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686144

北京市海淀区高粱桥斜街44号

邮编: 100044

印刷者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 140×203 印张: 4.875 字数: 125千字

版 次: 2007年3月第1版 2007年3月第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-81082-953-3/TG·3

印 数: 1~1000册 定价: 20.00元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406。

前 言

钢背铝 20 锡自润滑复合板材是由钢板与铝 20 锡合金覆层构成的复合材料，兼有钢的高强度、铝导热快和锡润滑性能好等优点，是生产现代新型轴瓦的理想材料；需求面遍布于汽车、铁路、航空航天等广泛领域；需求量很大，仅就我国来讲，年需求就高达几十万吨。

随着汽车、铁路、航空航天等领域的飞速发展，一方面钢背铝 20 锡自润滑复合板材的需求量猛增，另一方面对钢背铝 20 锡自润滑复合板材的性能提出了越来越高的要求。低性能的钢背铝 20 锡自润滑复合板材越来越力不从心，已经直接影响到了各需求领域的机械设备整体性能的发挥，成为了制约各应用领域发展的瓶颈；因此，开发钢背铝 20 锡自润滑复合板材成形新技术，以不断提高钢背铝 20 锡自润滑复合板材的性能，成为了该领域的研究焦点。

目前，我国的制备技术十分落后，50%以上的钢背铝 20 锡自润滑复合板材需要从国外进口，每年需要花费大量的外汇来满足国内的需求。可见，我国需要大力开展钢背铝 20 锡自润滑复合板材的研究工作。

为了适应钢背铝 20 锡自润滑复合板材研究的发展，进一步扩大钢背铝 20 锡自润滑复合板材成形方面新成果的交流，本书主要围绕复合工艺、界面结构、界面性能等方面，首先从常规成形、基本工艺、原理、方法等入手，然后对在“863”项目、教育部重点基金项目、国家博士后基金项目、清华大学基金项目、北京交通大学基金项目等纵向基金资助下将“复合研究学科”、

“浸镀研究学科”、“快速凝固研究学科”、“半固态研究学科”等多学科进行交叉后产生的新技术思想，形成的新技术，取得的新研究成果进行较为全面的介绍。

本书受北京交通大学教材出版基金资助。

作者希望本书能够对促进钢背铝 20 锡自润滑复合板材研究的交流，启发今后的研究思路，进而为促进钢背铝 20 锡自润滑复合板材研究的发展做出一定的贡献。

作者

2007 年 2 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 钢背铝 20 锡自润滑复合板材概述	(2)
1.1.1 钢背铝 20 锡自润滑复合板材的构成与成分	(2)
1.1.2 钢背铝 20 锡自润滑复合板材的性能及应用	(3)
1.2 常规成形方法	(4)
1.2.1 成形方法及流程	(4)
1.2.2 覆层组分的制备工艺	(10)
1.2.3 复合前的预处理工艺	(17)
1.2.4 复合板材的退火处理	(21)
1.3 复合界面结构	(24)
1.3.1 概述	(25)
1.3.2 固固相复合界面结构	(29)
1.3.3 固液相复合界面结构	(31)
1.4 界面结合性能	(36)
1.4.1 界面结合理论	(37)
1.4.2 界面结合的影响因素	(41)
1.4.3 促进界面结合的方法	(44)
1.4.4 常规钢背铝 20 锡复合板的复合性能	(53)
参考文献	(54)
第 2 章 固液相浸镀复合成形	(60)
2.1 概述	(60)
2.1.1 助焊剂的作用	(61)
2.1.2 浸镀助焊剂的方法	(63)

2.1.3 常用的助焊剂	(64)
2.2 固液相复合中助焊剂的浸镀	(65)
2.2.1 浸镀流程	(65)
2.2.2 助焊剂浓度的选择	(66)
2.2.3 助焊剂膜层厚度的选择	(66)
2.3 固液相浸镀复合界面	(76)
2.3.1 常规固液相浸镀铸轧复合界面结构形成规律	(77)
2.3.2 非平衡固液相浸镀复合界面结构形成规律	(81)
2.4 固液相浸镀复合性能	(91)
2.4.1 常规固液相浸镀铸轧复合性能	(91)
2.4.2 非平衡固液相浸镀复合性能	(97)
参考文献	(99)
第3章 半固态复合成形	(102)
3.1 概述	(102)
3.1.1 局部偏析技术思想	(102)
3.1.2 非均匀扩散技术思想	(103)
3.1.3 技术思想的实施	(105)
3.2 半固态浆料的制备技术	(106)
3.2.1 电磁搅拌制备技术	(106)
3.2.2 机械搅拌制备技术	(114)
3.2.3 单辊旋转制备技术	(116)
3.2.4 超声振动制备技术	(117)
3.2.5 低过热度浇注技术	(118)
3.2.6 电磁机械复合搅拌技术	(119)
3.3 铝 20 锡半固态浆料的制备	(121)
3.3.1 半固态浆料制备工艺	(121)
3.3.2 浆料固相率与搅拌条件的关系	(122)
3.3.3 半固态组织研究	(123)

3.4	半固态铸轧复合工艺	(128)
3.5	半固态复合界面	(130)
3.5.1	横断面结构	(130)
3.5.2	复合板撕裂表面的结构	(131)
3.5.3	界面变化规律	(133)
3.6	半固态复合性能	(138)
3.6.1	钢背预热温度的影响	(139)
3.6.2	半固态浆料固相率的影响	(140)
3.6.3	轧制速度的影响	(142)
	参考文献	(143)

第 1 章

绪 论

人类对金属复合板材的研究可以追溯到公元前 3000 年的古埃及时期，那时的名贵首饰和高级铠甲等实用物品有些就是采用金属复合板材制成的^[1-2]。经过随后几千年的发展，随着人类文明的不断进步，为了满足一次又一次技术革命的需要，经过全人类的不断努力和奋斗，金属复合板材的研究逐步实现了从偶然到必然的过渡，慢慢地奠定了现代金属复合板材科学技术发展的雄厚基础^[3-4]。到了 20 世纪 40 年代前后，开始出现并按照人类意愿开发出了多种在理论指导下的、较为系统的金属复合板材的现代研究方法^[5-6]。

由于金属复合板材的最大特点是具有相补效应^[7]，也就是，构成复合板材的各个组分，在复合以后，可以相互取长补短，彼此间能够弥补各自的弱点，形成优异的综合性能；因此，在现代科技文明飞速发展的世界中，金属复合板材的需求领域非常广泛，可以说遍布于人类文明的各个角落。所以，对金属复合板材的研究得到了世界各国科学界的高度重视，研究热潮一浪高过一浪^[8]。在这种大研究背景下，钢背铝 20 锡自润滑复合板材的研究异军突起，显示出了强劲的发展势头，并逐步走向了科学化、系统化。

1.1 钢背铝 20 锡自润滑复合板材概述

1.1.1 钢背铝 20 锡自润滑复合板材的构成与成分

——钢背铝 20 锡自润滑复合板材诞生于 20 世纪 30 年代^[9]，该板材是由钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层构成的金属复合板材，其结构如图 1-1 所示。

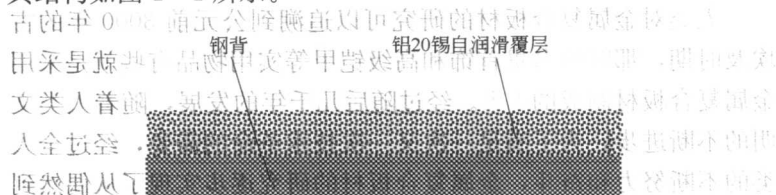


图 1-1 钢背铝 20 锡自润滑复合板材示意图

钢背铝 20 锡自润滑复合板材的钢背通常采用 08Al 钢板或 08F 钢板，其成分如表 1-1 所示^[10]。

表 1-1 钢背的成分（质量分数/%）

钢背	08Al	08F
C	≤ 0.08	0.05~0.11
Si	≤ 0.03	≤ 0.03
Mn	0.18~0.45	0.25~0.50
P	≤ 0.02	≤ 0.04
S	≤ 0.005	≤ 0.04
Cr	≤ 0.03	≤ 0.10
Cu	≤ 0.15	≤ 0.25
Al	0.02~0.07	—

钢背铝 20 锡自润滑复合板材的铝 20 锡合金自润滑覆层的成分（质量分数）如表 1-2 所示^[11]。

表 1-2 铝 20 锡合金成分

Sn	Cu	Fe	Si	Al
17.5%~22.5%	0.8%~1.2%	0.7%	0.5%~1.0%	其余

1.1.2 钢背铝 20 锡自润滑复合板材的性能及应用

钢背铝 20 锡自润滑复合板材既具有钢背的高强度、高刚度等优异的力学性能，又具有铝的质量轻、导热快和锡的润滑性能好等特点；在钢背铝锡自润滑复合板材系列中，其综合性能优良，是制备现代新型轴瓦的理想材料；需求领域非常广泛，遍布于汽车、铁路、航空航天等需要进行机械传动的领域^[12]。

随着汽车、铁路、航空航天等领域的飞速发展，各领域内整体机构的各个主要零部件的功能得到了较大幅度的提高，但是整体机构功能的提高却比较缓慢；其原因就在于关键传动零部件——轴瓦的性能达不到设计要求。对于整体机构来讲，无论其设计功能多么强大，如果传动零部件的性能不能满足设计要求，那么其设计功能将无法正常发挥出来。因此，钢背铝 20 锡自润滑复合板材性能的好坏将直接影响到汽车、铁路、航空航天等领域整体机构功能的发挥。可以说，钢背铝 20 锡自润滑复合板材的质量是制约整个汽车、铁路、航空航天等领域机构发展的瓶颈，因而钢背铝 20 锡自润滑复合板材的研究一直备受关注。“在原有基础上，不断开发钢背铝 20 锡自润滑复合板材的成形新方法 & 进行相关理论的研究，以便能够在简单、方便、经济、实用的前提下，生产出能够满足各个领域需求的高性能钢背铝 20 锡自润滑复合板材”一直是世界各国该领域的研究焦点。

1.2 常规成形方法

从 20 世纪 40 年代到 20 世纪 90 年代期间,世界各国科技工作者针对钢背铝 20 锡自润滑复合板材的成形方法进行了较为系统的研究,开发了许多种传统意义上的钢背铝 20 锡自润滑复合板材的常规成形方法,概括起来可以分为固固相复合成形方法和固液相复合成形方法两大类^[13]。

钢背铝 20 锡自润滑复合板材的固固相复合成形方法是采用固态钢背作为复合母板,与固态铝 20 锡合金覆层组分(包括铝 20 锡合金板和铝 20 锡合金粉末)进行复合成形的方法^[14]。较为典型的钢背铝 20 锡自润滑复合板材的固固相复合成形方法有:轧制复合成形方法、粉末烧结复合成形方法、爆炸复合成形方法等。

钢背铝 20 锡自润滑复合板材的固液相复合成形方法是采用固态钢背作为复合母板,与铝 20 锡合金液进行复合成形的方法^[15]。较为典型的钢背铝 20 锡自润滑复合板材的固液相复合成形方法有铸轧复合成形方法。

1.2.1 成形方法及流程

1. 轧制复合成形方法

轧制复合成形方法是指,将表面经过预处理的复合母板——钢背与覆层板——铝 20 锡合金自润滑覆层板一同喂入轧机,依靠轧辊间的轧制压力,来实现钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层复合的成形方法^[16]。其复合成形装置如图 1-2 所示。

轧制复合成形方法的基本工艺流程如图 1-3 所示。其中,铝 20 锡合金自润滑覆层板的制备详见 1.2.2 节所述。

钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层板的预处理工艺如表 1-3 所

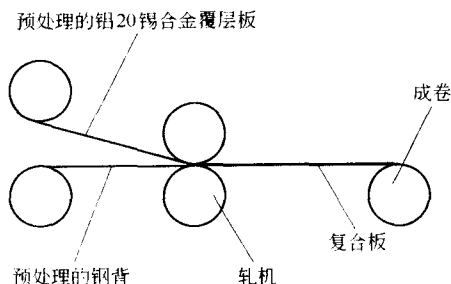


图 1-2 轧制复合成形装置示意图

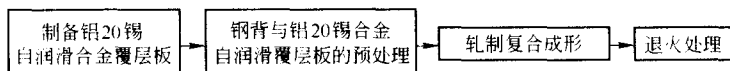


图 1-3 轧制复合成形工艺流程图

示，详见 1.2.3 节所述。进行预处理的目的在于去除钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层板表面上的杂物，为钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层板提供清洁的复合环境，进而促进钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层板之间的结合。

表 1-3 钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层板的预处理工艺

铝 20 锡合金自润滑覆层板	脱脂 除氧化皮
钢 背	脱脂 除氧化皮 打毛

在钢背铝 20 锡自润滑复合板材轧制复合成形后，要对复合板材进行高温退火处理，其主要目的是为了消除在轧制过程中因钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层板轧制变形量不同而在复合界面处产生的界面残余应力，从而使复合板材的界面力学性能得到提高，详见 1.2.4 节所述。

轧制复合成形方法是在轧制过程中完全依靠压力将异种金属原子贴合到一起的，其设备简单，操作方便，易于实现机械化，

并且对环境污染也较小,但是由于:①需要制备铝 20 锡合金自润滑覆层板,并且需要对其进行预处理,因此该成形方法的前期工序繁复,能耗较大;②在复合过程中,为获得较高的界面力学性能,需要施加巨大的轧制压力^[17],这样使得铝 20 锡合金自润滑覆层板的组织改变严重,即使经过长时间的高温退火处理也难以得到令人满意的使用性能^[18];因此,该成形方法的应用范围在一定程度上受到了限制。

2. 粉末烧结复合成形方法

粉末烧结复合成形方法是指,首先将铝 20 锡合金自润滑覆层粉末铺设在表面经过预处理的复合母板——钢背表面上,然后在保护性气氛下,通过加热扩散,来完成铝 20 锡合金自润滑覆层粉末与钢背之间复合成形的方法^[19]。其复合成形装置如图 1-4 所示。

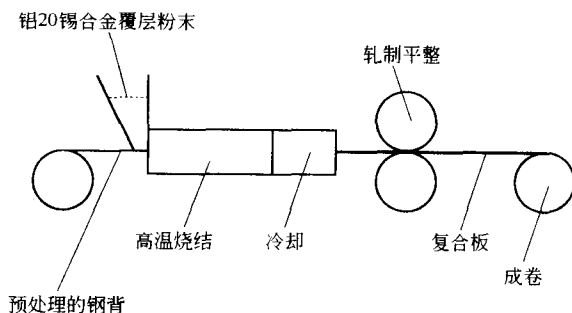


图 1-4 粉末烧结复合成形装置示意图

粉末烧结复合成形方法的基本工艺流程如图 1-5 所示。其中,铝 20 锡合金自润滑覆层粉末的制备详见 1.2.2 节所述。钢

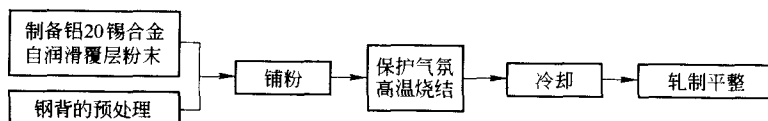


图 1-5 粉末烧结复合成形工艺流程图

背的预处理工艺与轧制复合成形方法中钢背的预处理工艺一致,详见 1.2.3 节所述。高温烧结的保护气氛由保护性气体形成,保护气体主要采用氢气、氮气等气体。轧制平整的目的是为了获得平整的复合板表面。

粉末烧结复合成形方法主要是,依靠在高温作用下金属原子热振动的振幅加大,从而产生异种原子相互之间的扩散,进而形成异种金属原子之间的结合^[20]。由于高温烧结温度低于高熔点组分铝的熔点,所以,在高温烧结过程中,铝 20 锡合金自润滑覆层中低熔点锡的流动受到固态铝的限制,因此锡的分布较为均匀。从这一点上看,粉末烧结复合成形方法是轧制复合成形方法的有益补充。

但是,钢背铝 20 锡烧结复合板材存在其非常突出的弱点,就是铝 20 锡合金自润滑覆层的孔隙率较大,因此其适用范围较为狭窄。另外,该方法需要制粉、混粉和进行长时间的高温烧结,因此其复合成形工序复杂,能耗较大。

3. 爆炸复合成形方法

爆炸复合成形方法是指,首先将复合母板——钢背放在砧板上,再将铝 20 锡合金覆层板放在钢背上,然后在铝 20 锡合金覆层板上铺设一层炸药,引爆炸药后,利用产生的爆炸力来实现钢背与铝 20 锡合金覆层之间复合的方法^[21],如图 1-6 所示。

爆炸复合成形方法的基本工艺流程如图 1-7 所示。

在爆炸复合成形中,由于炸药爆炸时产生的巨大冲击力会在钢背和铝 20 锡合金覆层板之间引起强烈的射流,可使钢背表面和铝 20 锡合金覆层板表面得到充分的清理;所以爆炸复合成形时,钢背与铝 20 锡合金覆层板的表面通常只需要进行简单的脱脂处理,详见 1.2.3 节所述。铝 20 锡合金覆层板的制备方法 with 轧制复合成形方法的铝 20 锡合金覆层板的制备方法一致,详见 1.2.2 节所述。

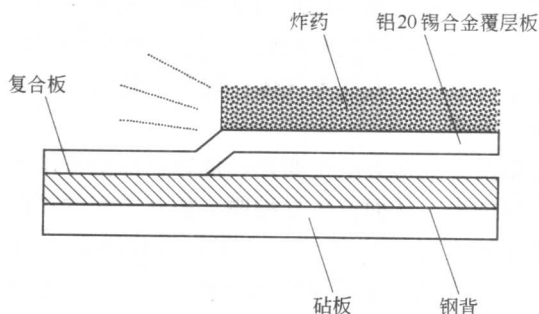


图 1-6 粉末烧结复合成形示意图

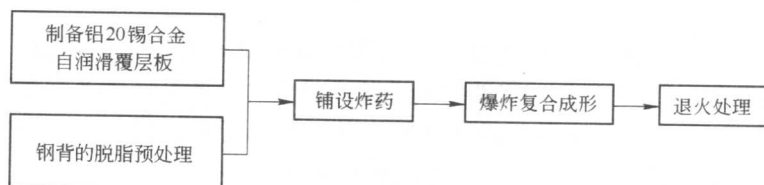


图 1-7 粉末烧结复合成形工艺流程图

在图 1-7 所示的钢背铝 20 锡自润滑复合板材爆炸复合成形工艺流程中，爆炸复合成形后，要对复合板材进行高温退火处理，其主要目的是为了消除在爆炸复合时因钢背与铝 20 锡合金覆层板爆炸冲击变形量不同而在复合界面处产生的界面残余应力，从而使复合板材的界面力学性能得以提高，详见 1.2.4 节所述。

爆炸复合成形方法是依靠炸药爆炸时产生的冲击力和瞬时的高温作用，将异种金属原子贴合到一起的^[22]，其设备简单，操作方便，是比较经济的一种复合成形方法。但是，在爆炸复合成形过程中，由于存在炸药引爆同步性问题，所以只能进行小面积片状复合，不能实现机械化连续生产。另外，炸药爆炸时对环境

的污染较大,因此其应用范围受到了一定的限制。

4. 铸轧复合成形方法

铸轧复合成形方法是指,首先将表面经过预处理的复合母板——钢背在保护性气氛下预热至所需温度,然后再与精炼后充分搅拌的铝 20 锡合金液直接进行铸轧复合成形的方法^[23]。其复合成形装置如图 1-8 所示。

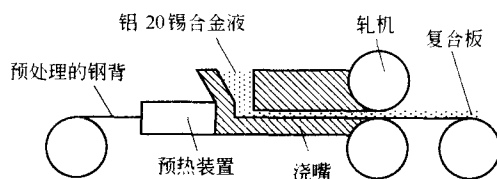


图 1-8 铸轧复合成形装置示意图

铸轧复合成形方法的基本工艺流程如图 1-9 所示。其中,铝 20 锡合金液的制备工艺详见 1.2.2 节所述。钢背的预处理工艺如表 1-4 所示,其中,在钢背表面轧制或镀纯铝薄层是为了预先达到铁与铝之间的接触,从而增大钢背与铝 20 锡合金自润滑覆层之间的有效结合面积,提高界面复合性能,详见 1.2.3 节所述。

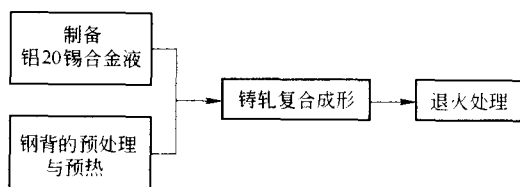


图 1-9 铸轧复合成形工艺流程图

表 1-4 钢背的预处理工序

钢背	脱脂	除氧化皮	打毛	轧制或镀纯铝薄层	脱脂	除氧化皮
----	----	------	----	----------	----	------