

高精度金属薄材手册

[美] 汉密尔顿 B·鲍曼 著

毕梦熊 张柏生 译



-62

上海科学技术出版社

TG 335.5-62

H

18

C.1

高精度金属薄材手册

[美] 汉密尔顿 B. 鲍曼 著

毕梦熊 张柏生 译

上海科学技术出版社

**Handbook of Precision
Sheet, Strip and Foil**
HAMILTON B. BOWMAN
Group Executive Teledyne, Inc.
American Society for Metals
Metals Park, Ohio 44073

高精度金属薄材手册
[美] 汉密尔顿 B. 鲍曼 著
毕梦熊 张柏生 译
上海科学技术出版社出版
(上海瑞金二路 450 号)

本书由上海发行所发行 上海东方印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.75 字数 168,000
1987 年 3 月第 1 版 1987 年 3 月第 1 次印刷
印数 1-2,500

统一书号: 15119·2499 定价: 1.50 元

内 容 提 要

作者是长期从事高精度金属薄材生产和管理方面的专家。手册中以通俗易懂的语言扼要地叙述了从冶炼到成品包装的高精度薄材产生全过程和金属材料的各种理化性能概念;汇集了最常用的 35 种不锈钢、镍基合金、钛和钛合金薄材的各类性能数据;用大量实样照片直观地展示了生产中金属表面出现的种种缺陷及它们的特征,并分析了产生的原因和预防的措施。

本手册读者对象为从事高精度金属薄材生产的冶金工作者、使用这类金属材料的产品零部件设计人员、工艺技术、管理人员以及具有中等以上文化水平的技术工人;高等院校和中等技术学校有关专业的师生亦可参考。

前 言

这是一本介绍高精度板、带、箔材的手册。所谓高精度板、带、箔材指的是用专用设备轧制的、厚度一般在0.381mm以下的金属扁材，它们的尺寸公差比常规轧机生产的较厚的板、带商品要严得多。

在过去十至十五年中，高精度板、带、箔材的应用迅速推广，因为它们固有的经济合算、重量轻和尺寸精度好等独特的优点已逐渐被设计人员所赏识。本手册旨在消除近年来人们对这类材料产生的神秘感，并向读者集中提供足够的资料，以便在使用这类材料时能够确定合理的参数。

全书重点是不锈钢、镍基合金和钛，而不是铝和其它有色金属，因为人们经常要求前一类材料以极薄的厚度用在苛刻的工作环境中。本手册主要介绍美国取得的轧制实践经验和使用的技术术语，但列出的数据同时用英制和公制两种单位表示^①。

手册中除了叙述高精度板、带、箔材的加工方法和应如何详细说明它们的技术规范外，还有大量的常常作为薄料使用的三十五种合金的资料，以帮助读者为特定的用途正确选材。

本手册收集了大量的表格，有的还是首次公布，它们提供了专为高精度板、带、箔材而设计的数据。

最后，在写作时笔者力求使用非专业人员也能理解的语

① 除个别情况外，译文中均用我国的法定计量单位表示——译注。

言,同时又汇集了足够的技术数据,以确保讨论到的每个问题
在内容上既正确又完整。

本手册能与读者见面,多亏下列各位给与了有益的建议
和协助: Teledyne Rodney Metals 公司的总裁 J. R. Sleeman
和他的同事,尤其是 C. W. Smith, V. E. Demski, R. J.
Scott, E. N. Stuck 和 S. R. Thomas(已离开该公司)。

手册中引用了 U. S. Steel Corp., Allegheny Ludlum
Industries, The Stellite Division of Cabot Corp. 和 The
International Nickel Co. 等单位发表在各种技术刊物中的
有价值的资料,在此一并致谢。

Hamilton B. Bowman

1980 年 2 月

译 者 的 话

这是一本手册型工具书。

高精度金属板、带和箔通常是指对厚度公差、板形和表面质量都有严格要求的冷轧金属薄材。一方面,随着现代工业产品向小型化、轻量化发展,作为功能材料、结构材料和装饰材料的高精度板、带、箔材的需求日益增长;另一方面,工业产品的零部件在加工制作工艺上也对金属薄材提出了高精度要求。例如,近年来我国引进的一些彩色和黑白显象管生产线,要求所用的金属薄材除必须达到规定的理化性能外,对它们的厚度公差、同条差及板形等也有严格的要求,以保证金属零件自动连续冲制工艺过程的正常进行。但是,高精度板、带、箔材的生产长期来一直是我国冶金工业中的一个薄弱环节。轧制这种薄材的主要轧机——森吉米尔二十辊冷轧机还未得到普遍使用,而热处理、精整修磨、剪切、脱脂去油和表面处理等作业线的工艺装备和厚度检测控制手段则更为落后。因此,迄今未能形成批量生产的能力。这正是目前我国电子工业用金属材料不能实现全部国产化的主要原因之一。我们翻译这本手册的主要目的也就在于帮助我国从事高精度板、带、箔材生产的冶金工作者以及材料使用者和零部件设计人员进一步了解国外对这些高精度材料的各种具体要求,以加深认识,在填补我国金属薄材空白的实践中有所借鉴。

Teledyne Rodney Metals 公司是美国生产箔材的骨干企业之一,而手册的作者是该厂的董事长,也是高精度金属薄材生产和管理方面的专家。他用通俗的语言深入浅出地叙述

了从冶炼直到成品包装的高精度板、带、箔材生产全过程；介绍了金属材料的各种理化性能概念；汇集了最常用的 35 种不锈钢、镍基合金、钛和钛合金薄材的各类性能数据；评价了有关合金在不同介质和条件下的耐蚀性，并列出了许多有用的数据。作者用大量照片说明了高精度板、带、箔材中常见的四十余种外观质量上的缺陷及其特征，并分析了产生的原因和预防的措施。手册中有关包装以及带材宽度、带重、卷径选择的章节对我们也是很有参考价值的。

最后，需要说明的是翻译时删去了一些与文字内容关系不大的照片。原著中的不少数据往往同时用公制和英制单位表示，译文中一般都已换算成我国法定计量单位，因此，删去了原著中第二十一章的英制-公制单位换算表。译文中极个别地方仍保留英制单位或未按原文语句译出，原因详见相应的脚注。

1985 年 12 月

目 录

第一章 术语	1
第一节 板、带的宽度	1
第二节 金属工业中的厚度	3
第二章 高精度板、带、箔材的原材料	5
第一节 熔炼过程	5
第二节 钢液制成板坯	11
第三节 板坯制造	11
第四节 表面修整	14
第五节 热轧	16
第六节 退火、酸洗和精整	17
第三章 冷轧	20
第一节 冷轧过程	21
第二节 冷轧机	22
第三节 冷轧的冶金学问题	26
第四章 厚度及其控制	28
第一节 冷轧中的厚度测量	28
第二节 轧机上金属厚度的控制	30
第三节 厚度变化	32
第四节 厚度公差	33
第五节 厚度指示图	34
第六节 厚度检测工具	35
第五章 热处理	38
第一节 退火	38

第二节	硬化	42
第三节	消除应力处理	43
第六章	调质度	44
第一节	机械性能的确定	45
第二节	屈服强度	46
第三节	抗拉强度	48
第四节	延伸	49
第五节	硬度	50
第六节	加工对机械性能的影响	52
第七节	各种机械性能的平衡	56
第七章	其它的室温机械性能和特性	58
第一节	深冲性	58
第二节	成形性	61
第三节	疲劳强度	62
第八章	负温和高温时的机械性能	64
第一节	高温机械性能	64
第二节	负温机械性能	67
第九章	表面粗糙度	68
第一节	影响表面粗糙度的因素	68
第二节	表面粗糙度的描述和测量	69
第十章	板形	74
第一节	瓢曲	74
第二节	浪边	76
第三节	人字纹	76
第四节	横向弓曲	77
第五节	纵向瓦垅波纹	78
第六节	卷曲	79

第七节	翘曲	79
第八节	扭曲	80
第九节	改善平直度的方法	81
第十一章	纵剪	85
第一节	纵剪作业线	85
第二节	剪条的边部形貌	89
第三节	剪切工具	91
第四节	剪条宽度的测量	93
第五节	边部整修	94
第六节	镰刀弯	96
第七节	特长的带卷	99
第十二章	卷材的尺寸	104
第一节	内径的选择	104
第二节	带卷尺寸的估算(带宽 ≥ 25.4 mm时)	112
第三节	近似卷重表	116
第十三章	腐蚀	117
第一节	什么是腐蚀	117
第二节	腐蚀的类型	122
第三节	评价金属耐蚀性的方法	126
第十四章	合金的物理性能	127
第十五章	不锈钢	132
第一节	概述	134
第二节	室温物理性能	137
第三节	高温物理性能	140
第四节	室温机械性能	147
第五节	高温机械性能	147
第六节	不锈钢的退火	147

第七节	不锈钢的硬化热处理	159
第八节	不锈钢的应力消除处理	161
第九节	不锈钢的耐蚀性	165
第十六章	镍基合金、钴基合金和特殊合金	166
第一节	概述	166
第二节	室温物理性能	171
第三节	高温物理性能	171
第四节	室温机械性能	171
第五节	高温机械性能	183
第六节	镍基合金的退火	183
第七节	硬化热处理	184
第八节	耐蚀性	186
第十七章	钛和钛基合金	188
第一节	概述	190
第二节	室温物理性能	190
第三节	高温物理性能	190
第四节	室温机械性能	193
第五节	高温机械性能	193
第六节	沾污	195
第七节	耐蚀性	195
第八节	热处理	195
第十八章	包装和搬运	198
第一节	包装容器的种类	198
第二节	箱子内或垫板上的金属保护措施	202
第十九章	正常表面状态和缺陷	203
第二十章	单位长度重量表	219
第二十一章	单位重量长度表	228

第一章 术 语

在深入谈到高精度板、带、箔材的生产细节以前，最好考察一下多年来用来定义和划分金属扁轧材宽度和厚度的一些基本术语，并了解一下它们是怎样用于或经修改后适用于高精度轧材的。

本手册的中心内容是不锈钢、镍基合金和钛的高精度板、带、箔轧材，书中采用的术语是与钢铁工业中的术语密切吻合的。

第一节 板、带的宽度

若干世纪以前，金属工匠采用了在乎面上锻打铸条的方法生产各种金属厚板和薄板；后来改用使铸条在两根手工驱动的轧辊之间来回通过的生产方法。

随着板材需求量的增长，发展了机械动力，并以各种方式用它驱动轧辊。到十九世纪中期，在欧美普遍出现了许多单机架甚至双机架的轧机。这些轧机能生产扁断面的金属轧材，但长度很短。其中断面较薄的产品称为薄板，较厚的称为中、厚板。

到十九世纪末期，出现了第一个连轧的扁钢产品。断面较薄的产品最初称为捆扎钢带，但有时按其用途也叫箍圈窄带钢或棉花打包窄带钢。与以往生产的薄板不同，这种带钢产品要长得多，有时还自然地成卷。能实现这一点是由于轧

机机组是串列式连续排列的；当金属连续通过好几个机架时仍有足够的温度，易于变形，从而能依次减小厚度。

这些新的连轧机的宽度比较窄，这是既由于涉及到新式轧机的技术问题，又因当时市场需求的是窄产品，如箍圈窄带钢、铁皮条和棉花打包窄钢带。当这些连轧产品找到了新用途时，生产厂都普遍开始采用带钢这一名词了，因为它比棉花打包窄钢带、箍圈窄带钢或捆扎钢带等名称更有概括性。因此，连轧机也就以带钢轧机而出名了。

到了 1920 年，凡连续式带钢轧机生产出来的较薄的金属材料就通称为钢带了。那时已建成能提供宽达 610 mm 轧材的带钢轧机，凡是厚度范围相似而宽度超过 610 mm 的轧材都叫薄板，它们是在手工喂料的单机架或双机架薄板轧机上生产的。此外，与薄板相比，钢带的长度较长，通常是成卷的，尺寸更均匀，而且一般说来生产费用较低。

但是，在二十年代中期研制成了一些功率更大的大型连轧机，第一次可轧出宽度大于 610 mm 的成卷坯料。

由于老式连轧机已以带钢轧机叫出名了，所以即使新型轧机轧成的产品宽度已达 2134 mm，在分类和出售时属于板材了，可是这种轧机现在仍然称为带钢轧机。虽然现在仍有一些生产热轧窄带卷专用的带钢轧机，但绝大部分扁钢材是在宽的连轧机上生产的，将得到的宽带卷经过纵剪后就成为带钢（即宽度小于 610 mm）。

从现代生产技术来看，尽管当初对带和薄板作这样的区分并不很确切，但大多数金属加工界人士当讨论到常用的扁薄轧材时，仍然把宽度 ≥ 610 mm 的叫做薄板，宽度 < 610 mm 的叫做带材。

高精度板、带、箔材的宽度：

钢铁工业使用多年的“宽度”这个术语也同样适用于高精度板、带、箔材，但在述及箔材时是一个例外。虽然箔材还没有一个公认的定义，但本书把厚度 $\leq 0.127\text{ mm}$ 任何宽度的扁薄轧材都称为箔材。因此，对于箔材就不存在象带和薄板之间那种区别，根本不必考虑宽度的范围。例如， 0.114 mm 厚 $\times 19.05\text{ mm}$ 宽和 0.053 mm 厚 $\times 1066.8\text{ mm}$ 宽的两种轧材都叫箔材。

可从箔材厂买到的厚度大于箔材 ($> 0.127\text{ mm}$) 的扁轧材，与钢铁工业中的命名一致，被称为薄板或带，只是对厚度 $< 0.381\text{ mm}$ 的产品，加上“高精度”一词。如果对尺寸或技术规范没有特殊的要求，厚度 $> 0.381\text{ mm}$ 的板、带材也能从箔材厂买到，但价格一般比钢铁厂生产的要贵。

本手册采用的高精度板、带、箔材定义如下：

产 品	厚度范围, mm	宽度范围, mm
箔 材	≤ 0.127	不 限
高精度薄板	$> 0.127 \sim 0.381$	≥ 610
高精度带材	$> 0.127 \sim 0.381$	< 610

第二节 金属工业中的厚度

在使用轧机以前，由于金工手艺的习惯，不需要给予厚度特别的命名。但是自从使用轧机以后，就习惯用“规”号来表示扁轧材的各种厚度。各生产厂根据各种加工阶段末期的金属厚度所用的规号不尽相同。不久，出现了有多少生产厂就有多少种规号系统的局面。直到本世纪中叶后才有一些系统被普遍接受。今天美国所有生产厂使用的是“生产厂薄钢板

标准规”系统。它为 6.073~0.152 mm 的厚度列出了 36 个标号,每个标号规定一个厚度范围,较厚的板材其厚度范围可宽达 0.254 mm。虽然这个系统用于一般轧材是令人满意的,但对高精度板、带、箔材的生产和应用来说却是不适用的,因为规号低限所对应的厚度不够小,并且规号之间的厚度范围太大了。箔材厂生产的材料厚度是用小数点后数字表示的,且仅限于工厂内部规定的公差范围。关于这一点将在以后各章中进行讨论。

虽然“规”这一名词最初是用来表示轧材的不同厚度,而且至今仍有一些生产厂在使用,但是美国钢铁学会建议停止使用这个名称,而用厚度或实际厚度来代替。本手册将尽可能采纳这一建议,只有在谈到测量厚度的工具时才使用“规”这一名词。

第二章 高精度板、带、箔材的原材料

本手册中使用的“箔材厂”指的是高精度板、带、箔材生产厂，它们一般不是综合性金属生产厂，也就是说，它们并不从事采矿、熔炼、合金化或生产各种锻压产品。从箔材厂买到的各类金属和特殊合金轧材，其原始坯料是由综合性金属生产厂根据工业界公认的化学成分和物理性能标准技术规范为它们进行熔炼，并由常规轧机加工成卷坯所提供的。例如，从一家箔材厂买来的 304 型不锈钢箔卷，它的性能实际上应该与其它箔材厂按类似技术规范提供的箔材相同。箔材厂是难以改变采购来的金属的基本化学成分的。一般在箔材厂只限于将常规轧机为其生产的金属卷坯进行冷轧、热处理、平整、纵剪和修边等工序。

本章不详细介绍某种特定金属的采矿、熔炼和生产中的技术问题，有关这方面的资料已有很多。但是为了对高精度板、带、箔材有一个更完整的了解，简述一下从金属矿石到用作箔材厂原料的卷坯的整个工艺技术是有帮助的。

第一节 熔 炼 过 程

生产任何一种金属都是从加工天然金属矿石开始的，通过选矿和精选等各道工序，把矿石中的金属含量提高到足以与其它还原材料(如焦炭和石灰石)一起装炉的水平。在钢铁工业中这种初次熔炼作业是在高炉中进行的，得到的产品是

• • •