

板带冷轧机 板形控制与机型选择

Flatness Control in Cold Strip Rolling and Mill Type Selection

徐乐江 编著



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

板带冷轧机板形控制与机型选择

徐乐江 编著

北 京
冶金工业出版社
2007

内 容 简 介

本书共分6章,主要是针对当前板带冷轧机型和板形控制的热点,结合宝钢的生产实践,从工艺、设备及自动模型控制等方面分析冷轧机型和板形控制的问题。其中第1章主要介绍冷轧板带的生产工艺及其产品应用特点;第2章主要介绍冷轧带钢板形的理论,并介绍了宝钢计算轧辊弹性挠曲、压扁及轧件弹塑性变形的相关计算模型;第3章、第4章分别介绍了冷轧板形的检测方法及常用机型,并对宝钢板形检测技术的应用开发做了介绍;第5章提出板形调控功效的概念,并对各种典型机型的板形控制性能进行了比较,提出冷连轧机机型配置建议方案;第6章介绍了包括带钢边部减薄控制在内的板形自动控制系统模型策略及框图,特别介绍了智能控制方法如BP神经网络及模糊控制在板形控制中的应用及现场改进情况,并对轧机的边部减薄控制进行了仿真分析。

本书可供从事塑性加工的工程技术人员阅读,也可供高校冶金、材料加工专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

板带冷轧机板形控制与机型选择/徐乐江编著. —北京:冶金工业出版社,2007.8

ISBN 978-7-5024-4301-6

I. 板… II. 徐… III. ①板材轧制—冷轧 ②带材轧制—冷轧
IV. TG335.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第110273号

出 版 人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 张 卫(联系电话:010-64027930;电子信箱:bull2820@sina.com)

李培禄(联系电话:010-64027930;电子信箱:lipeilu@sohu.com)

王雪涛(联系电话:010-64062877;电子信箱:2bs@cnmip.com.cn)

美术编辑 王耀忠 版面设计 张 青

责任校对 卿文春 李文彦 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4301-6

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2007年8月第1版,2007年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16; 19印张; 429千字; 288页; 1—4500册

59.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

序

我与本书作者相识是在 20 世纪 80 年代末。作者时任宝钢冷轧厂厂长,我正与该厂协作进行关于板形课题的研究工作。作者是冶金机械专业出身,和我是同行。当时,提高板形质量是厂里关心的热点问题之一,因而常就此展开热烈的讨论。作者熟悉生产情况,对技术数据了如指掌,并对板形问题有深入的认知。我们对问题的分析和见解常有共识,例如,我们都认为在五机架冷连轧机组中,第一机架的凸度和平坦度控制行为是影响后续各机架控制行为的关键因素,并决定在第一机架上配置“变接触支撑辊”,这一装置是由我们共同研究开发成功的,使用至今,绩效稳定。

在我国宽带钢冷连轧机领域,宝钢引进了当今国际上最有代表性的各种板形控制技术和轧机机型,如四辊 CVC、六辊 CVC、DSR、UCMW 等。作者将宝钢在板形控制技术和轧机机型方面多年生产经历、消化引进及自主创新的理性积累与实践成果加以总结提炼,编著成书,无疑将对关心及从事此领域工作的企业界、科技界及学术界的读者有所裨益和启发。

板带冷轧机的板形控制技术,是决定冷轧板带产品外形质量的重要因素。特定的板形控制技术,将形成轧机在机座、辊形及其控制系统等主体方面的特征,从而构成特定的轧机机型。采用自主研发的性能优良的板形控制技术和由此构成的轧机机型设计,是轧机自主化设计与制造的重要标志。愿本书的出版能为推动我国板带冷轧机板形控制技术的自主开发与创新以及板带冷轧机的自主化设计与制造技术的进步做出贡献。

中国工程院院士 陈先霖

2007 年 3 月

前言

板形及厚度精度是衡量冷轧板带质量的两个重要外形尺寸指标。从某种意义上讲,带钢的板形控制实际上是厚度控制沿带钢宽度上的拓展。随着 20 世纪 70 年代初接触式板形辊在冷轧机上的广泛应用,以及随后 70 年代末到 80 年代初诸如 HC、CVC 等新型板形控制轧机的出现,冷轧带钢板形控制技术作为轧钢领域内的一项高新技术在世界范围内被广泛地应用和研究。时至今日,有关冷轧板形控制和机型方面的研究仍在不断完善与提高。

我国在板形控制技术方面的研究起步较晚,在板带冷连轧机生产实践方面的时间不长,而对于板形控制新型轧机的实践研究更是相对缺乏。在 20 世纪,我国仅有武钢、宝钢、本钢和攀钢四个企业拥有板带冷连轧机组。国内首套板带冷连轧机组是 1978 年投产的武钢 1700 mm 冷连轧机,其板形控制仅为手动控制的液压弯辊,板形控制水平相对较差。直到 1988 年,作为国内第二套板带冷连轧机组的宝钢 2030 mm 四辊 CVC 冷连轧机投产,才标志着冷轧板带新型板形控制轧机在我国的应用开始。随后,1996 年攀钢六辊 HC 板带冷连轧机以及 1997 年宝钢五机架全 CVC 板带冷连轧机的相继投产应用,分别为不同板形控制机型的实践研究奠定了基础。

进入 21 世纪,随着我国钢产量的大幅提高,特别是 2004 年以来,年产量以超过 5000 万 t 的速度增长,新建的板带冷连轧机组也迅速增加。全国各大钢铁公司纷纷投入巨资新建或拟建冷轧板带项目,不少民营企业也加入了这一行列。考虑到有相当部分企业的冷轧板带生产处在起步阶段,尤其对冷轧板形控制方面更是缺乏经验,而宝钢在国内最早开始了带钢板形自动控制冷连轧机的生产应用,并拥有 CVC、HC、UC、VC、DSR 等主流板形控制机型。为此,作者基于近二十年的宝钢冷轧生产经历以及在冷轧板形控制方面大量的研究创新工作,同时参考了相关国内外文献,将有关冷轧板带板形控制和机型方面的技术及自主创新成果进行系统提炼,写成此书奉献给读者,希望能对同行有所帮助,对我国冷轧板带技术的发展进步起到一定的推动作用。

本书以宝钢近 20 年的生产实践为基础,以冷轧带钢产品和生产工艺介绍为铺垫,结合对引进技术的消化、应用与创新的成果,全面阐述了目前世界上流行的板带冷轧机机型的特点以及机列的组合;各种弹塑性理论及在板形分析计算中的应用方法;对 7 种流行的冷轧机机型板形调控的能力进行了仿真计算和比较;同时介绍了先进的板形自动控制系统。

全书共分 6 章。第 1 章以宝钢碳钢板带产品为主,分别介绍了碳钢板带产品的分类与相应的品种;酸洗、冷轧、热处理、涂镀等冷轧带钢生产工序的工艺流程。第 2 章强调了冷轧带钢板形的重要意义、板形的基本概念及板形的描述方法、板形缺陷产生的主要原因和影响因素;重点论述了轧辊系统的弹性变形理论,其中包括弹性基础

梁、影响函数法、希奇柯克公式法、有限元法等弹性理论的基本思想、求解过程、求解步骤和计算流程;在轧辊热变形理论方面,详细阐述了二维差分法和商用有限元软件求解轧辊的热凸度;在带钢塑性变形理论方面,突出分析了能量法、差分法、条元法、有限元法等塑性理论的基本思想,应用上述理论计算辊缝中带钢厚度横向分布、金属横向流动以及轧辊弹性压扁的方法。第3章从检测原理出发,分别描述了冷轧板带生产上常用的平坦度、断面形状以及边部减薄量的控制方法,并进行了比较;详细介绍了宝钢在板形检测信号处理、带钢板形信息在上下工序间的传输和板形检测等一系列研究创新成果。第4章从板形控制原理出发,指出板形控制技术的发展及目前主流板带冷轧轧机机型的特点,并对常见的板形控制技术进行了比较。第5章在机列配置方面,展望了单机架、双机架及多机架等轧机的最新发展趋势,分析了板带轧机的板形控制策略,板形控制技术的工作原理,定义了七项用于反映板带轧机板形控制性能的指标。借助有限元模型,对七种主流机型进行了模拟计算,并比较了上述机型的控制能力和特性。从设备配置、工艺参数、板形调控能力等方面,对宝钢现有的三套冷轧机进行了比较,分析了机型的含义及机型选配的内容,提出了冷轧机机型选配的原则和理想方案。第6章全面介绍了板形自动控制系统,如板带冷轧机自动控制系统的组成、系统的结构和控制硬件的组成、在实际生产中应用的板形设定计算、前馈控制和闭环反馈控制的功能、流程、算法和计算模型,以及智能控制在板形控制中的应用、边部减薄自动控制的理论与实践应用等。

在本书的写作过程中得到了宝钢冷轧厂及研究院、北京科技大学等单位的大力支持,宝钢冷轧厂的许健勇博士、姜正连博士、宝钢研究院李山青博士及北京科技大学的张清东教授为本书的完成做了大量的基础工作。初稿完成后,曾邀请中南大学钟掘院士、北京科技大学陈先霖院士、徐金悟教授和施东成教授参加了审稿会,他们认真地审议了原稿并提出许多宝贵意见。陈先霖院士还在百忙之中为本书作序,在此一并表示衷心的感谢。

由于板带冷轧机型及板形控制方面涉及内容广泛,加上作者水平所限,书中不足之处恳请广大读者批评指正。

著 者

2007年3月

目 录

1 冷轧带钢产品与生产	1
1.1 冷轧带钢产品的分类和品种	1
1.1.1 热轧酸洗板带	1
1.1.2 全硬板带	1
1.1.3 普冷板带	1
1.1.4 涂镀板带	4
1.2 冷轧带钢产品用途	12
1.2.1 热轧酸洗板带的用途	12
1.2.2 普冷板带的用途	12
1.2.3 热镀锌板带的用途	13
1.2.4 电镀锌板带的用途	13
1.2.5 电镀锡板带的用途	14
1.2.6 彩色涂层板带的用途	14
1.2.7 电工钢板带的用途	15
1.3 冷轧	17
1.3.1 酸洗	17
1.3.2 冷轧	20
1.4 热处理	25
1.4.1 罩式炉退火	26
1.4.2 连续式退火	28
1.5 平整	30
1.6 热镀锌	31
1.6.1 镀前处理	31
1.6.2 镀锌工艺	32
1.6.3 镀后处理	33
1.7 电镀锌	33
1.8 电镀锡	35
1.9 拉伸弯曲矫直	36
1.9.1 拉伸弯曲矫直机的结构类型	36
1.9.2 拉伸弯曲矫直技术在酸洗冷轧线的应用	37
1.9.3 拉伸弯曲矫直技术在连续退火、热镀锌和精整机组上的应用	38

1.9.4 拉伸弯曲矫直机工作机理的解析描述	39
参考文献	40
2 冷轧带钢板形的理论	41
2.1 平坦度	41
2.2 板形的基本概念	42
2.2.1 横截面凸度	42
2.2.2 相对凸度	42
2.2.3 相对延伸差	42
2.2.4 边部减薄	43
2.2.5 楔形	43
2.3 板形的描述	43
2.3.1 带钢横截面的描述	43
2.3.2 带钢平坦度的描述	44
2.3.3 凸度和平坦度的转化关系	45
2.3.4 冷连轧机中板形的传递	46
2.4 板形缺陷的产生原理	48
2.5 影响板形的因素	50
2.5.1 轧辊弹性挠曲的影响	50
2.5.2 工作辊与支撑辊之间弹性压扁的影响	50
2.5.3 工作辊与轧件之间弹性压扁的影响	50
2.5.4 轧辊热凸度的影响	51
2.5.5 轧辊不均匀磨损的影响	51
2.5.6 热轧来料硬度不均的影响	51
2.5.7 入口板形的影响	52
2.6 辊系弹性变形理论	53
2.6.1 轧辊弹性挠曲的求解方法	55
2.6.2 带钢与轧辊弹性压扁的求解方法	57
2.6.3 轧辊与轧辊弹性压扁的求解方法	62
2.6.4 有限元法求解弹性挠曲和压扁	65
2.6.5 变厚度有限元	69
2.7 轧辊及带钢热变形理论	74
2.7.1 差分法	74
2.7.2 有限元法	77
2.8 轧辊磨损理论	83
2.9 带钢塑性变形理论	84
2.9.1 能量法	86
2.9.2 差分法	86

2.9.3 条元法	89
2.9.4 有限元法计算带钢三维弹塑性变形和轧辊弹性变形	90
2.10 带钢屈曲变形理论	95
2.10.1 屈曲变形的力学模型	96
2.10.2 后屈曲变形的力学模型	98
参考文献	99
3 冷轧板形的检测方法	100
3.1 平坦度测量	100
3.1.1 接触式板形仪	101
3.1.2 非接触式板形仪	108
3.2 板廓测量	113
3.2.1 带钢断面形状测量	113
3.2.2 边部减薄量测量	114
3.3 冷轧板形检测方法在宝钢的应用	115
3.3.1 带钢板形统计及其扩展	115
3.3.2 带钢板形工序间的信息传输	119
3.3.3 检查重卷机组带钢板形自动测量系统的开发	122
3.3.4 薄带钢连续退火板形监测装置的开发	123
参考文献	124
4 常用板带冷轧机机型	125
4.1 板形调控基本方法	125
4.1.1 人工调节控制法	125
4.1.2 冷却液控制法	126
4.1.3 压下倾斜控制法	126
4.1.4 液压弯辊法	127
4.2 板带冷轧机主流机型	128
4.2.1 HC/UC 轧机	128
4.2.2 CVC 技术	131
4.2.3 液压胀形辊 DSR、VC 技术	133
4.2.4 PC 轧机	134
4.2.5 森吉米尔轧机	135
4.2.6 其他类型轧机	137
4.3 机列配置	140
4.3.1 单机架配置	140
4.3.2 双机架配置	142
4.3.3 多机架配置	144

参考文献	147
5 板带冷轧机板形调控性能比较与机型选配	149
5.1 板带轧机与板形控制技术	149
5.1.1 板形调控执行机构的调控功效与工作原理	149
5.1.2 轧机控制板形的基本策略与实现方法	153
5.2 轧机板形调控性能的界定指标	156
5.2.1 辊缝凸度调控域	156
5.2.2 辊缝形状刚度	159
5.2.3 辊间接触压力分布不均匀度	160
5.2.4 弯辊调控能力	161
5.2.5 边部减薄量(边缘降)	163
5.2.6 板形调控功效曲线	163
5.2.7 承载辊缝的基本凸度值	164
5.3 各种机型轧机的板形调控性能比较	164
5.3.1 各型轧机的有限元仿真模型	164
5.3.2 数值仿真的计算工况与结果分析	171
5.3.3 各种机型轧机板形调控性能的综合比较	177
5.4 三种典型冷轧机的生产应用对比	177
5.4.1 某厂 2030 mm DSR /CVC 冷连轧机	177
5.4.2 某厂 1420 mm 四辊和六辊 CVC 冷连轧机	183
5.4.3 某厂 1550 mm UCMW 冷连轧机	186
5.4.4 三套冷连轧机组的板形实绩	189
5.4.5 各机组板形控制权重的评价	203
5.5 机型及机型的选配	205
5.5.1 机型的含义	206
5.5.2 机型的选择和连轧机的组成	207
参考文献	215
6 板带冷轧机板形自动控制系统	216
6.1 板形自动控制系统	216
6.2 板形调控机构设定计算	217
6.2.1 设定计算的功能特点和策略	217
6.2.2 目标曲线的功能和设定	219
6.2.3 设定计算的方法分类	221
6.2.4 设定计算的流程	224
6.2.5 轧辊热凸度计算	226
6.2.6 轧辊磨损计算	228

6.3 轧制力前馈控制	229
6.3.1 前馈控制的功能	229
6.3.2 轧制力前馈控制计算模型	229
6.4 板形闭环反馈控制	231
6.4.1 闭环反馈控制的功能	231
6.4.2 反馈控制策略	231
6.4.3 反馈控制计算模型	232
6.4.4 反馈控制的计算流程	238
6.5 智能控制方法在板形控制中的应用	240
6.5.1 BP神经网络在板形控制中的应用	241
6.5.2 模糊控制方法在板形控制中的应用	246
6.5.3 预测控制方法在板形控制中的应用	251
6.6 带钢边部减薄自动控制	256
6.6.1 冷轧带钢的边部减薄生成机理	256
6.6.2 带钢边部减薄的控制技术	258
6.6.3 六辊 UCMW 冷轧机的边部减薄控制性能分析	261
6.6.4 轧制中带钢边部减薄量与平坦度的耦合关系	266
6.6.5 带钢边部减薄自动控制系统(AEC)	268
6.6.6 带钢边部减薄控制功能推广应用	279
参考文献	283
术语索引	285

1 冷轧带钢产品与生产

1.1 冷轧带钢产品的分类和品种

热轧完毕的钢卷,经酸洗、冷轧、热处理和涂镀等一系列工序的加工处理,最终成为冷轧产品。如按加工深度进行分类,冷轧带钢产品分为热轧酸洗板带、全硬板带、普冷板带、涂镀板带等四大类。

1.1.1 热轧酸洗板带

厚度为 150~300 mm 的连铸板坯在炉子内被加热后,送到全连续或半连续式带钢热轧机列,进行粗轧、精轧、冷却和卷取,或者在往返式的炉卷轧机上进行轧制,成为热轧带钢产品。热轧带钢成品的厚度一般在 1.2~6.0 mm 范围。热轧带钢经酸洗后,进入平整机组平整、涂油包装,成为可销售的成品,这就是热轧酸洗板带。20 世纪 80 年代末,例如 CSP 等一批高效节能的新工艺—薄板坯连铸连轧应运而生,热轧成品的厚度比传统热连轧成品的要薄,可达 0.8 mm。热轧成品最终厚度的减薄,进一步扩大了热轧酸洗板的应用范围。

热轧酸洗板带的钢种包括:低碳钢、结构钢、汽车结构用钢、冷变形用热轧细晶粒钢、锅炉和压力容器用钢、IF 钢等。

1.1.2 全硬板带

酸洗后的热轧钢卷,只有部分作为酸洗热轧板带提供给市场。往往许多下游加工行业需要比热轧成品厚度更薄的产品,或对板带的表面质量、尺寸精度或强度等有不同的要求时,带钢还需进入冷连轧机或可逆轧机进行轧制。

如果经冷轧后的钢卷不再继续到下游工序加工处理而直接作为产品使用的话,常常把这种产品称为全硬板带,也有称之为轧硬卷的。因为经冷轧后带钢的硬度和屈服强度都得到大大地提高,视变形率大小而定,一般硬度在 85 HRB 以上,带钢的屈服极限 R_s 将提高到 2~3 倍。全硬板带的厚度一般在 0.3~0.8 mm 的范围,目前一些用户有继续减薄的要求。

1.1.3 普冷板带

热轧带钢经过酸洗冷轧后,进行电解清洗,去掉带钢表面的油污,再进行退火热处理和平整,必要时还进行涂油处理,这样的产品统称为普通冷轧板带,简称普冷板带。

普冷板带按强度等级可分为软质钢、高强钢和超高强钢。软质钢中包括商业用钢、冲压用钢和深冲用钢 CQ、DQ、DDQ、EDDQ、SEDDQ 等,软质钢等级与常用牌号的对应关系见表 1-1。高强钢包括低合金钢、BH(bake-hardening)烘烤硬化钢、超低碳含磷钢等。近年来

新开发的超高强钢有:DP(dual phase) 双相钢、TRIP(transformation induced plastic)相变诱导塑性钢、TWIP(twin induced plastic)孪晶诱导塑性钢、含 B 钢等。

表 1-1 软质钢等级与常用牌号的对应关系

名 称	级 别	牌 号
商用钢	CQ	ST12 SPCC BLC
冲压用钢	DQ	ST13 SPCD BLD
深冲用钢	DDQ	ST14 SPCE BUSD
特深冲用钢	EDDQ	ST15 ST16 BUFD
超深冲用钢	SEDDQ	ST17 BSUFD

注:SPCC:Steel Plate Cold Commerical 商用钢;SPCD:Steel Plate Cold Deep drawn 冲压用钢;SPCE:Steel Plate Cold deep drawn Extra 深冲用钢。

如果按带钢的表面质量,普冷板带又可划分出 O3、O5 二个级别,其中 O5 板的一面允许有不妨碍变形和表面镀层的缺陷;但另一面为优质表面,必须无影响电镀和涂漆均匀外观的缺陷存在。

对于软质钢而言,经冷轧后硬度大大地提高,屈服强度提高 2~3 倍,这样的带钢既不合适也不可能进行冲压加工。要想恢复带钢良好的冲压性能,必须将带钢加热到再结晶温度,使在冷轧过程中破碎的晶粒得到完全回复和再结晶。经过再结晶热处理后,带钢的力学性能得到恢复,例如变形抗力降低,塑性升高。其实再结晶热处理的作用不仅仅限于此。在退火过程中,钢的织构得到强化,例如 IF 钢在罩式炉内,铁素体晶粒表现出 {111} 择优取向的特征,从而产生织构强化,若 {111} 晶面平行于带钢轧面的晶粒比例较多,对应的 r 值也比较高,因为 {111} 晶面是主滑移面,而 $\langle 110 \rangle$ 方向是主滑移方向,由此构成的滑移系平行于带钢轧制面,钢板在成形过程中抗厚度减薄能力强,拉深性能好。

常用的再结晶热处理方法有罩式炉退火处理和连续退火处理。

经过再结晶热处理的带钢产品,为了得到需要的表面形貌,消除时效并获得理想的力学性能,以及改善板形,还需要小压下率的平整轧制,最终成为可供冲压变形加工使用的板带。经过再结晶热处理后获得良好的冲压性能的普冷产品包括各等级软钢以及非时效性 IF 钢。

汽车用高强钢和超高强钢的开发工作,都是围绕着高强度、高塑性、减轻汽车的重量、提高安全性和环境友好的目标而进行的。

1.1.3.1 烘烤硬化钢

烘烤硬化钢的强化是通过固溶强化实现的。钢中存在固溶碳和氮,在冲压成形过程中产生了位错,在随后的 170℃ 上下的温度范围烘烤涂漆时,固溶碳原子集结到位错的周围,形成“科氏气团”,将位错钉扎住,使带钢的强度上升,强度提高约 40~80 MPa,产生人工应变时效硬化。这种钢最突出的优点在于:较低的屈服强度 R_e ,易于冲压成形,经烘烤后带钢的强度得到进一步提高,因此非常适合冲压汽车的外部 and 内部零件。

1.1.3.2 双相钢

低碳钢和低碳低合金钢是经临界区处理或控制轧制而得到的,在铁素体的基体中析出岛状的马氏体或贝氏体,第二相的比例约占 5%~30%。双相钢具有屈服强度低、初始加工硬化速率高、在加工硬化和屈服强度上表现高应变速率敏感性以及强度和延性配合好等特点,是一种强度高成形性好的新型冲压用钢。此外,这种钢无需平整轧制也不会产生屈服平台,同时还具有烘烤硬化的效应。双相钢的研究与应用,是低碳合金领域的重大发展之一。双相钢因其具有良好的强塑性匹配及冷变形性能,常应用于汽车冲压件。

双相钢可通过热轧法和热处理法获得。

(1) 热轧法:将热轧带钢的终轧温度控制在两相区的某一范围,然后快速冷却,即通过控制最终转变温度及冷却速度的方法获得铁素体+马氏体双相组织。该方法又分为两种:一是常规热轧法,即在通常的终轧及卷取温度下获得双相组织;二为极低温度卷取热轧法,钢带在 M_s 点以下进行卷取,以获得双相组织。

(2) 热处理法:将热轧或冷轧后的带钢重新加热到两相区并保温一定时间,然后以一定速度冷却,从而获得所需要的 F+M 双相组织。

1.1.3.3 TRIP 钢

TRIP 钢实际上是在双相钢的基础上发展而来的。这种钢由软、硬不同的多相组织构成,开发这种钢是应用了大家熟知的优质钢的“变形诱导塑性”效应。TRIP 钢既可以通过热轧获得,也可以在冷轧后的热处理获得。在连续退火的加热过程中,带钢被加热到相间临界温度,形成了奥氏体(A)与铁素体(F)双相组织,然后快速冷却到时效温度,此时大部分的奥氏体转变为贝氏体,冷却直至室温,此时形成了贝氏体、铁素体和小部分残留奥氏体多相组织。这种稳定的组织在强烈的塑性变形过程中将受到影响,残留的奥氏体会转变为马氏体,提高了强度,阻止材料的缩颈进程,改善了加工性能。TRIP 钢的相变诱导塑性机理参见图 1-1。

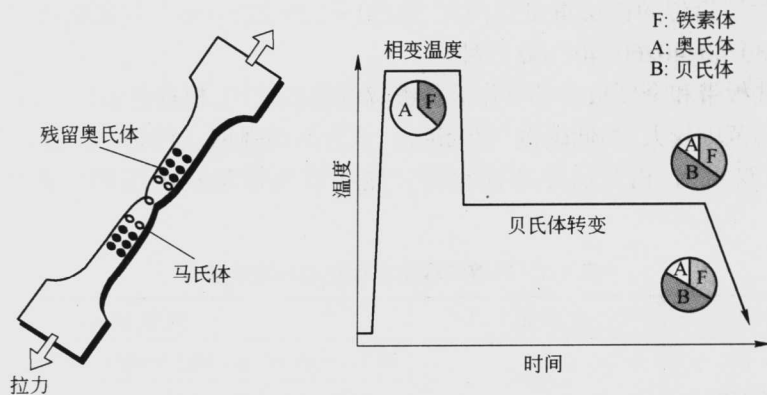


图 1-1 TRIP 钢的相变诱导塑性机理示意图

TRIP 钢具有强度高、塑性高、即强塑积($TS \times EL$)较高等一系列优点,较好地解决了强度和塑性的矛盾。TRIP 钢有非常突出的特性:强塑积达 20000,而一般钢种仅为 15000;加工硬化指数 n 高,达到 2.0 以上;平面各向异性低;烘烤硬化性好;屈强比低,通

常为 0.6~0.8,加工容易,高强钢的屈服比通常为 0.8~0.9;冲撞时吸收能量的能力强,更安全;抗疲劳强度高。

1.1.3.4 TWIP 钢

孪晶诱导塑性钢。TWIP 钢强度可以达到 600~1100 MPa,伸长率可达到 60%~95%。Twip 钢的成分通常主要是铁,添加 15%~30% 的 Mn,并加入少量 Al 和 Si,也有再加入少量的 Ni,V,Mo,Cu,Ti,Nb 等元素。研究表明,在 γ_{fcc} 的层错能是关键, γ_{fcc} 大于 20 mJ/m² 时会发生机械孪生,所有增加层错能的合金都有助于孪生发生,比如铝就增加层错能,硅则降低层错能。该钢在无外载荷时,冷却到室温下的组织是稳定的残余奥氏体,在外部载荷下,因为应变诱导产生机械孪晶,会产生大的无颈缩延伸,并且会显示非常优异的力学性能,如高的应变硬化率、高的塑性值和高的强度。

1.1.4 涂镀板带

涂镀板带的定义比前面所述的三类产品要广,涂镀产品包括了热镀锌板带、热镀铝锌合金板带、电镀锌板带、电镀锡板带和彩色涂层板带。涂镀产品是冷轧带钢产品中加工程度最深的产品,因此其附加值也是最高的。

1.1.4.1 热镀锌板带

热镀锌板带生产工序由脱脂、再结晶退火、热镀、平整和钝化涂油等工序组成。热镀锌板带产品按镀层处理方法分为纯锌镀层 GI 和锌铁合金 GA(Galvannealed)两种。在纯锌热镀锌带钢离开锌锅后,进入 500℃ 的合金化炉内,锌层与基板的铁通过扩散形成了锌-铁合金层,这层锌-铁合金层的耐腐蚀性能非常好,涂装性也很好。此外,还大大地改善了焊接性能。

按镀层表面锌花的形态,纯锌热镀锌板带又可分“小锌花”、“正常锌花”、“光整锌花”和“无锌花”4 种。按镀层类型,热镀锌板带又可分为等厚和差厚镀层板带。宝钢生产的热镀锌等厚镀层板带的镀层重量范围在 30/30~225/225 g/m²,差厚镀层板带的镀层重量(g/m²)有 30/40、40/60、40/100 三种。

热轧酸洗板带和全硬板带都可作为热镀锌的基板使用,根据热镀锌成品的用途,基板的钢种选择的范围较大,如低碳钢、超低碳钢、低合金高强钢、超低碳高强钢、烘烤硬化钢、加磷高强钢、双相钢、相变诱导塑性钢等。热镀锌板带基板等级和宝钢牌号如表 1-2 所示。

表 1-2 热镀锌板带基板等级和宝钢牌号

基板级别	应用范围	宝钢牌号
低碳或超低碳钢	一般用	DC51D+Z(St01Z,St02Z,St03Z) DC51D+ZF
		DC51D+Z(St01ZR,St02ZR)
	冲压用	DC52D+Z(St04Z) DC52D+ZF
超低碳钢	深冲用	DC53D+Z(St05Z) DC53D+ZF
	特深冲用	DC54D+Z(St06Z) DC54D+ZF
	超深冲用	DC56D+Z(St07Z) DC56D+ZF

续表 1-2

基 板 级 别	应用范围	宝 钢 牌 号		
碳素钢或低合金钢	结构用	S220GD+Z S220GD+ZF		
		S250GD+Z S250GD+ZF		
		S280GD+Z(StE280-2Z) S280GD+ZF		
		S320GD+Z S320GD+ZF		
		S350GD+Z(StE345-2Z) S350GD+ZF		
		S550GD+Z S550GD+ZF		
加磷高强度	冷成形用	H220PD+Z H220PD+ZF		
		H260PD+Z H260PD+ZF		
低合金高强度		H300LAD+Z		H300LAD+ZF
		H340LAD+Z(HSA340Z)		H340LAD+ZF
		H380LAD+Z H420LAD+Z(HSA410Z)		
		HR340LAD+Z(HSA340ZR)		
		HR420LAD+Z(HSA410ZR)		
超低碳高强度		H180YD+Z H180YD+ZF		H220YD+Z
		H220YD+ZF	H260YD+Z	H260YD+ZF
烘烤硬化钢		H180BD+Z H180BD+ZF		H220BD+Z
		H220BD+ZF	H260BD+Z	H260BD+ZF

表 1-2 中宝钢牌号代码的含义说明如下:

(1) 低碳钢牌号:

<u>X</u>	<u>X</u>	<u>XX</u>	<u>X</u>	<u>X</u>
1	2	3	4	5

1:D——冷成形用;

2:C——通过冷轧生产;

3:特性符合(51,52);

4:D——热镀锌英文缩写;

5:镀层种类:Z 纯锌,ZF 锌铁合金,AZ 铝锌合金,ZR(HR)热轧热镀锌。

(2) 结构钢牌号:

<u>X</u>	<u>XXX</u>	<u>XX</u>	+	<u>X</u>
1	2	34		5

1:S——结构钢;

2:最小屈服强度值;

3:G——热处理代号;

4:D——热镀锌英文缩写;

5:镀层种类:Z 纯锌,ZF 锌铁合金,AZ 铝锌合金。

(3) 高强度牌号:

<u>X</u>	<u>XXX</u>	<u>XX</u>	+	<u>X</u>
1	2	34		5

- 1:H——高强钢;
 2:最小屈服强度值;
 3:强化方式(B:烘烤硬化,P:磷强化,LA:低合金高强,Y:IF);
 4:D——热镀锌英文缩写;
 5:镀层种类:Z 纯锌,ZF 锌铁合金,ZR 热轧热镀锌。

热镀锌板带按镀层种类、镀层形式、表面结构和表面处理的分类如表 1-3。

表 1-3 热镀锌板带的分类

分类项目	类 别
镀 层 种 类	纯锌镀层
	锌铁合金镀层
镀 层 形 式	等厚镀层
	差厚镀层
表 面 结 构	正常锌花
	光整锌花
	小锌花
	光整小锌花
	无锌花
	锌铁合金
表 面 处 理	铬酸钝化处理
	涂油
	铬酸钝化处理 + 涂油

1.1.4.2 热镀铝锌合金板带

热镀铝锌合金板带 GALVALUM 与热镀锌板带不同之处在于,热镀铝锌合金板带的镀层由铝锌合金组成,镀层中铝的质量分数约为 55%,锌占 43.4%,硅占 1.6%。热镀铝锌合金板带的耐腐蚀性能突出。热镀铝锌合金板带的基板以铝镇静钢为主,也包括部分低合金高强钢。热镀铝锌合金板带按应用范围可分为冷成形用和结构用两种,热镀铝锌板带按应用范围的分类与宝钢牌号列在表 1-4 中。

表 1-4 热镀铝锌板带按应用范围的分类与宝钢牌号

应用范围	宝 钢 牌 号
冷 成 形 用	DC51D + AZ
	DC52D + AZ
结 构 用	S250GD + AZ
	S300GD + AZ
	S350GD + AZ
	S550GD + AZ

热镀铝锌合金板带与热镀锌板带一样,有不同的镀层种类、表面结构、表面处理,如表 1-5 中所示。