

RAL · NEU 研究报告 No.0018

热轧双相钢先进生产工艺 研究与开发

REZHA SHUANGXIANGGANG XIANJIN SHENGCHAN GONGYI YANJIU YU KAIFA

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室
(东北大学)



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

RAL · NEU 研究报告 No. 0018

热轧双相钢先进生产工艺 研究与开发

轧制技术及连轧自动化国家重点实验室
(东北大学)



北京

冶金工业出版社

2015

内 容 简 介

热轧双相钢以其优异的综合性能使其能够广泛地应用于汽车、石油、船舶和建筑等领域。本研究依托东北大学 RAL 国家重点实验室与多个钢铁厂开发减量化热轧双相钢课题为背景,通过实验室热模拟实验、热轧实验分析以及现场试制研究双相钢的组织转变过程及其影响因素,并在实验研究的基础上开发出低成本、高性能热轧双相钢生产工艺,在现场试制成功 550~700MPa 的热轧双相钢,并在国内多家钢厂完成双相钢的试制及批量生产。

图书在版编目(CIP)数据

热轧双相钢先进生产工艺研究与开发/轧制技术及连轧自动化国家重点实验室(东北大学)著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 10

(RAL·NEU 研究报告)

ISBN 978-7-5024-7061-6

I. ①热… II. ①轧… III. ①不锈钢—热轧—生产工艺—研究 IV. ①TG142.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 242723 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp. com. cn 电子信箱 yjcb@cnmp. com. cn

策 划 任静波 责任编辑 李培禄 卢 敏 美术编辑 彭子赫

版式设计 孙跃红 责任校对 卿文春 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7061-6

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2015 年 10 月第 1 版, 2015 年 10 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 7 印张; 111 千字; 102 页

43.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp. com. cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

研究项目概述

1. 研究项目背景与立题依据

双相钢（简称 DP 钢）具有优良的力学性能和成型性能，成为理想的汽车用钢板。在已经开发的先进高强度钢板（AHSS）系列化产品中，高强度双相钢板是汽车中应用面最宽的品种之一。为了达到节能减排的目的我国也非常注重汽车轻量化的研究，已有不少钢厂在开发 DP 钢，并不断应用在汽车生产中。

双相钢主要用于对成型性能有较高要求的结构件（DP600、DP800、DP980），如纵梁、横梁和加强件等汽车零件。随着技术的进步，也逐渐开始被用于汽车外露件，如内外板（DP450、DP500）等，比标准钢种的抗凹陷能力高 20%，具有 15% 的减重潜力。国外主要采用热轧 DP 钢来制作轿车车轮和大梁。国内各大钢厂对 DP 钢的需求日益增加。为了达到节能减排、降低成本、增加效益的目的，我国各大钢厂都积极开展了对热轧 DP 钢生产工艺的研究与开发。

目前国内多家钢厂增设了前置式超快冷设备，其细晶强化效果非常明显，对开发新品种钢是一个非常有利的硬件条件。为适应当前降低生产成本的迫切要求，结合现场超快冷设备，本课题主要研究 C-Mn-Nb-Ti 系和 C-Mn-Cr 系低成本高性能热轧双相钢生产开发工艺，通过实验室研究，掌握不同化学成分的相变动力学曲线、不同元素对组织性能的影响规律；在热轧实验基础上，探索终轧温度、出超快冷温度和卷取温度对热轧双相钢的影响规律，因地制宜开发出适宜现场工况的生产工艺。并充分考虑现场 CSP 生产线生产过程中速度恒定，控制稳定，具备生产薄规格产品的能力，开发出 Cr 系双相钢。

2. 研究进展与成果

(1) 实验室热模拟研究：借助热模拟实验，获得相变动力学曲线。相变动力学曲线可以很好地反映出新相形成过程与新相形成速度，结合相变动力

学曲线与热膨胀曲线，可以得到准确的临界温度。同时根据加工硬化指数 n 的变化，可以将先共析转变过程很好地描述出来。在新相形成过程中，尤其是先共析转变过程，优先析出的是棱边铁素体。

(2) 奥氏体连续冷却相变实验研究：分析了不同温度、不同变形条件下工艺参数对相变过程的影响。奥氏体化温度越低，相变前的奥氏体晶粒尺寸越小。减小相变前奥氏体晶粒尺寸，能够同时促进棱边铁素体析出量和析出速度，冷却速度增大，相变总时间显著缩短，同时冷却速度增加，铁素体体积分数中棱边形核占比高，且析出快。奥氏体化温度越低，铁素体相变温度提高，铁素体更易析出，同时，在未完全奥氏体化的情况下，后续相变过程中的铁素体始终大量存在。完全奥氏体过程到奥氏体化程度较低的过程变化中，贝氏体的相变区域是增加，然而区间扩大而体积分数是降低的，发生贝氏体转变的温度也是逐步降低，这说明碳含量的影响更为主要，而相变驱动力的影响相对来说要更为弱化。随着奥氏体化温度降低，珠光体相变与马氏体相变区间均得到扩大。

(3) 元素 Si 和 Cr 对相变过程及对产品组织性能的影响：合金元素 Si 的添加在低的冷却速度下对铁素体相变温度提高近 30°C ，提高效果明显。合金元素 Si 的添加有助于加快铁素体相变过程。同时合金元素 Cr 含量增加后，在 $40^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 时，出现了马氏体组织。合金元素 Cr 的添加有助于马氏体的析出，同时起到一定的抑制贝氏体相变的作用。

(4) 实验室热轧实验研究：利用实验室四辊轧机及超快冷、复合冷却设备，进行热轧实验，探索化学成分、终轧温度和出超快冷温度对热轧双相钢的影响规律，将各热轧试验工艺与相应得到的微观组织性能进行对比分析，摸索得到良好双相钢力学性能的热轧工艺和冷却工艺。

(5) 工艺试制：充分发挥前置式超快冷细晶强化的作用，分别在 HSM 和 CSP 生产线上进行不同成分体系的 DP 钢试制。在 2250HSM 生产线上试制 C-Mn-Nb-Ti 系双相钢，获得性能良好的 DP700。将该产品用于制作轿车车轮，其疲劳次数为 19 万次，远远超过标准要求。在 CSP 生产线上试制 C-Mn-Cr 系双相钢，获得性能稳定的 600MPa 级双相钢，其屈强比低于 0.70。采用这种成分体系的双相钢相比其他品种钢至少节省成本 150 元/吨，且性能优良。目前汽车市场对 DP 钢需求旺盛，“以热代冷”的薄规格热轧 DP 钢更具市场竞争力，前景看好。

3. 论文

(1) Cai Xiaohui, Liu Chengbao, Liu Zhenyu. Process design and prediction of mechanical properties of dual phase steels with prepositional ultra fast cooling[J]. Materials and Design, 53(2014):99 ~ 1004.

(2) Liu Xuhui, Cai Xiaohui, Zhou Xiaoguang, Yi Hailong, Liu Zhenyu. Production process of DP steel on CSP- and HSM-line with early UFC. the 2nd international conference: Super-High Strength Steel, 17-20 Oct. 2010, Peschiera del Garda, Italy.

(3) Cai Xiaohui, Liu Xuhui, Cheng Xiaojun, Zhang Danping, Liu Zhenyu. Production process of Hot-Rolled DP steels with prepositive UFC. Proceedings of the 10th International Conference on Steel Rolling, Organized by the Chinese Society for Metals, September 15-17, 2010, Beijing, China, 581 ~ 586.

(4) 蔡晓辉, 刘旭辉, 刘振宇, 张志利. 前置式超快冷方式下 DP700 的生产工艺. 东北大学学报 (自然科学版), Journal of Northeastern University (Natural Science), 2011 年 10 期.

4. 项目完成人员

项目完成人员	职 称	单 位
刘振宇	教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
蔡晓辉	副教授	东北大学 RAL 国家重点实验室
林锦阳	硕士研究生	东北大学 RAL 国家重点实验室
刘旭辉	高级工程师	湖南华菱涟钢有限公司
李 会	高级工程师	湖南华菱涟钢有限公司
殷 胜	高级工程师	上海宝钢集团梅山有限公司
乔治明	高级工程师	唐山钢铁股份有限公司
张玉文	工程师	唐山钢铁股份有限公司

5. 报告执笔人

蔡晓辉

6. 致谢

本研究工作是在王国栋院士、刘振宇教授的指导下完成的，感谢老师对这项工作所给予的指导、支持和帮助！感谢东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室（RAL）这个平台所提供的良好的学术环境和精良的研究设备！

感谢涟钢、梅钢、唐钢、柳钢、通钢等多家钢厂在生产调试过程中给予的支持和配合！

感谢 RAL 实验室各位师傅的辛勤工作和大力配合！感谢研究生林锦阳、本科生侯果等人辛苦细致的实验工作！

感谢 RAL 全体老师和全体后勤人员对项目执行过程中所给予的热情帮助和支持！

祝 RAL 的明天更美好！

目 录

摘要	1
1 绪论	3
1.1 热轧汽车高强用钢的发展概述	3
1.2 双相钢概述	4
1.2.1 双相钢的发展及应用	4
1.2.2 双相钢组织特征	6
1.2.3 双相钢性能特征	7
1.2.4 热轧双相钢形成机理	8
1.3 双相钢的生产工艺	9
1.3.1 热处理双相钢	9
1.3.2 热轧双相钢	9
1.4 超快冷在双相钢生产中的应用	10
1.5 生产及应用现状	11
1.6 主要研究内容	12
2 相变动力学曲线分析与相变行为研究	13
2.1 热膨胀曲线与相变动力学关系	13
2.2 临界温度的确定	17
2.3 硬化指数 n 的变化与铁素体形核位置变化的关系	17
2.4 连续冷却转变行为研究	19
2.4.1 实验材料及实验设备	20
2.4.2 实验方法	21
2.4.3 实验结果及分析	22



2.4.4	分析与讨论	28
2.5	合金元素 Si 和 Cr 对相变过程的影响	30
2.5.1	实验材料	30
2.5.2	实验方法	30
2.5.3	实验结果分析	31
2.5.4	分析与讨论	34
2.6	本章小结	35
3	先共析转变过程的影响因素	37
3.1	奥氏体晶粒尺寸对先共析转变过程的影响	37
3.1.1	实验材料与实验设备	37
3.1.2	实验方法	37
3.1.3	实验结果及分析	38
3.2	冷却速度对先共析转变过程的影响	42
3.2.1	实验材料与实验设备	42
3.2.2	实验方法	43
3.2.3	实验结果及分析	43
3.3	奥氏体化温度对后续相变过程的影响	45
3.3.1	实验材料与实验工艺	45
3.3.2	实验结果及分析	46
3.3.3	分析与讨论	46
3.4	本章小结	51
4	实验室热轧实验研究	53
4.1	实验材料及方法	53
4.1.1	实验材料	53
4.1.2	实验工艺	53
4.1.3	组织观察与力学性能检测	54
4.2	实验结果与分析	54

4.2.1	化学成分对性能与组织的影响	54
4.2.2	终轧温度对性能和组织的影响	55
4.2.3	超快冷出口温度对性能和组织的影响	58
4.3	本章小结	61
5	热轧双相钢超快冷工艺参数的设计	63
5.1	双相钢的控制冷却过程	63
5.2	冷却过程参数设计	63
5.2.1	中间温度	64
5.2.2	中间空冷时间	64
5.2.3	卷取温度	65
5.2.4	轧件通过速度	67
5.3	在线应用	68
5.4	本章小结	69
6	热轧双相钢先进生产工艺开发	70
6.1	HSM 生产线热轧双相钢先进生产工艺开发	70
6.1.1	化学成分和生产工艺	70
6.1.2	试制结果分析	70
6.2	CSP 生产线热轧双相钢生产工艺开发	76
6.2.1	试制目的	76
6.2.2	化学成分和生产工艺	76
6.2.3	产品显微组织检测	78
6.2.4	产品力学性能检测	79
6.3	生产工艺对热轧双相钢组织性能的影响因素分析	80
6.3.1	终轧温度对组织性能的影响	81
6.3.2	超快冷出口温度对组织性能的影响	86
6.3.3	空冷时间对组织性能的影响	90
6.3.4	卷取温度对组织性能的影响	91

6.3.5 半无头轧制的优势 91

6.4 热轧双相钢生产工艺的推广应用 93

6.5 本章小结 94

7 结论 96

参考文献 98

摘 要

热轧双相钢以其优异的综合性能使其能够广泛地应用于汽车、石油、船舶和建筑等领域。近些年，“以热代冷”产品尤其高强度汽车用钢不仅可以大量节省工艺、降低能源消耗，还可以使汽车重量减轻，使其兼顾了安全性与节能性的目标。热轧双相钢是一类应用范围广泛、极具有市场竞争优势的钢铁材料，将对我国汽车制造业的快速发展发挥越来越重要的作用。

本研究报告依托东北大学 RAL 国家重点实验室与多个钢铁厂开发减量热轧双相钢课题为研究背景，通过实验室热模拟实验、热轧实验分析，以及现场试制研究双相钢的组织转变过程及其影响因素，并在实验室研究的基础上开发低成本、高性能热轧双相钢生产工艺，在现场试制成功的基础上进行大批量生产及工业推广。主要包括：

(1) 运用热模拟实验，通过优化处理可以得到相对应的相变动力学曲线。相变动力学曲线可以很好地反映出新相形成过程与新相形成速度。结合相变动力学曲线与热膨胀曲线，可以得到准确的临界温度。同时根据加工硬化指数 n 的变化，可以将先共析转变过程很好地描述出来，在新相形成过程中，尤其是先共析转变过程，优先析出的是棱边铁素体。

(2) 进行了奥氏体连续冷却相变实验研究，分析了不同温度、不同变形条件下工艺参数对相变过程的影响。奥氏体化温度越低，相变前的奥氏体晶粒尺寸越细小。减小相变前奥氏体晶粒尺寸，能够同时促进棱边铁素体析出量和析出速度，冷却速度增大，相变总时间显著缩短，同时冷却速度增加，铁素体体积分数中棱边形核占比高，且析出快。奥氏体化温度越低，铁素体相变温度提高，铁素体更易析出，同时，在未完全奥氏体化的情况下，后续相变过程中的铁素体始终大量存在。完全奥氏体过程到奥氏体化程度较低的过程变化中，贝氏体的相变区域增加，然而区间扩大而体积分数是降低的，发生贝氏体转变的温度也是逐步降低，这说明碳含量的影响更为主要，而相变



驱动力的影响相对来说要更为弱化。随着奥氏体化温度降低,珠光体相变与马氏体相变区间均得到扩大。

(3) 研究了元素 Si 和 Cr 对相变过程及对产品组织性能的影响。合金元素 Si 的添加在低的冷却速度下对铁素体相变温度提高近 30℃,提高效果明显,合金元素 Si 的添加有助于加快铁素体相变过程。同时合金元素 Cr 含量增加后,在 40℃/s 时,出现了马氏体组织。合金元素 Cr 的添加有助于马氏体的析出,同时起到一定的抑制贝氏体相变的作用。

(4) 在实验室进行热轧实验,探索化学成分、终轧温度和出超快冷温度对热轧双相钢的影响规律,将各热轧试验工艺与相应得到的微观组织性能进行对比分析,摸索得到良好双相钢力学性能的热轧工艺。

(5) 探索终轧温度、出超快冷温度和卷取温度对热轧双相钢的影响规律,因地制宜开发出适宜现场工况的生产工艺,并在国内多家钢厂完成双相钢的试制及批量生产,试制成功 550~700MPa 的热轧双相钢。

关键词: 热轧双相钢; 相变行为; 共析转变; 生产工艺

1 绪 论

1.1 热轧汽车高强用钢的发展概述

随着工业的快速发展,汽车产量急剧增加,车速不断提高,安全问题日益为人们所关注。同时,伴随着社会的高速发展,人类面临越来越严重的资源、能源短缺问题,承受着越来越大的环境压力^[1]。针对这样的问题,人们在制造业领域提出了4R原则,即减量化、再循环、再利用、再制造。因此,汽车制造也向高安全、减重节能、经济环保、长使用寿命的方向发展。

为保证人员和车辆安全,美国在1966年就制定了联邦汽车安全标准(Federal Motor Vehicle Safety Standard),这个标准也正处于不断的修正当中。此外,美、日及西欧各国在1970年制定了安全试验车计划(Experimental Safety Vehicle),该标准提出保证安全的一个重要措施是增强汽车结构和构件的强度。20世纪末,面对汽车轻量化的要求,国际钢铁协会组织了34家钢铁企业和知名汽车公司提出了超轻钢车体计划先进车概念(ULSAB-AVC);同时,针对世界能源供应日益紧张的形势,美国政府于1993年推出了新一代汽车伙伴计划(PNGV)项目。这两个项目均对汽车制造提出了更高的标准,项目中提出一些典型轿车车身的减重目标为20%,这旨在进一步减少汽车能耗。要想达到项目的目标,车身用材必须发生重大变化。项目提出车身中高强度钢的用量从原来的5%提高到98%^[2,3]。当今汽车用钢的发展趋势如图1-1所示。

汽车减重是节能环保的重要保证,车体重量每减轻24%就将减少排放670464t二氧化碳,还可以节省279400000L原油。在欧洲,大气污染有25%来源于交通运输,降低燃油的消耗和二氧化碳的排放的措施之一是减轻车辆的重量。钢铁的材料可以有效地减轻车量的重量,采用AHSS,可使汽车生产厂家有效实现减重,且不需要增加成本,而且可以有效保护环境^[4]。我国面

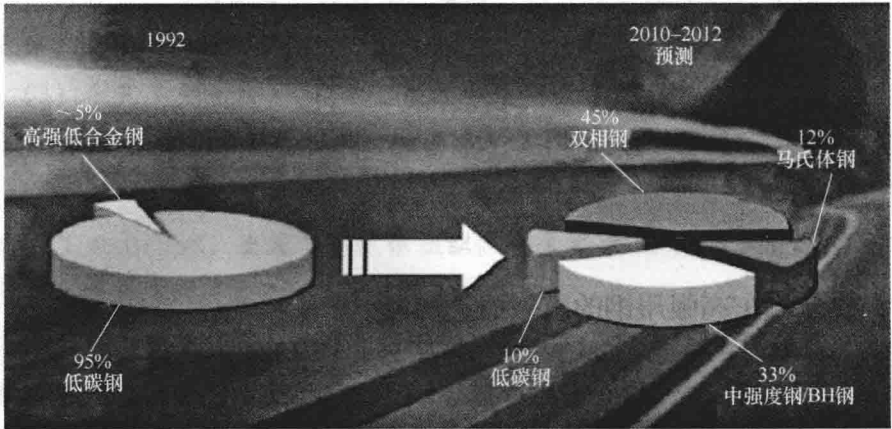


图 1-1 汽车用钢的发展趋势

临的交通减排形势严峻，更应该加强 AHSS 的应用。

双相钢（DP 钢）具有优良的力学性能和成型性能，成为理想的汽车用钢板。在已经开发的先进高强度钢板（AHSS）系列化产品中，高强度双相钢板是汽车中应用面最宽的品种之一。在国际钢铁协会超轻钢车体计划先进车概念（ULSAB2AVC）和美国新一代汽车伙伴计划（PNGV）项目中，DP 钢的单车用量为 162.25kg，约占整车用先进高强度钢板总质量的 74.3%^[5,6]。北美也计划到 2010 年使双相钢用量占到汽车用钢总量的 45%^[7]。与此同时，为了达到节能减排的目的我国也非常注重汽车轻量化的研究，已有不少钢厂在开发 DP 钢，并不断应用在汽车生产中。

近几年，低碳钢在车辆用钢中逐渐减少（如图 1-1 所示），而双相钢（DP）已经增加到 45%。随着双相钢的增加，车辆在逐渐减轻，这大大缓解了环境的压力。

1.2 双相钢概述

1.2.1 双相钢的发展及应用

双相钢的产生、发展和应用起始于 20 世纪 60 年代末和 70 年代初。20 世纪 70 年代美国对安全法规提出更严格的要求，并且由于 20 世纪 70 年代初的

石油危机而使得汽车能耗问题尖锐化。1985 年美国的能耗法规就规定小汽车油耗为 11.7km/L，同时规定了 CO₂ 和 NO_x 的排放量；这些法规的规定，使得美国轿车工业加速了轻量化的进程，而汽车轻量化（尤其是白车身轻量化）的重要而有效的手段之一是采用高强度钢。为适应汽车工业发展的这一需要，双相钢应运而生，并得到大量研究和发展；从 20 世纪 70 年代初双相钢产生后，至 20 世纪末，尤其是 20 世纪 80 年代，对双相钢的合金设计、组织性能关系等诸多物理和力学冶金问题曾进行了大量研究。真正批量生产和在汽车上大量应用还是起因于 1999 年全世界 32 家钢公司和著名汽车公司联合开展的 ULSAB-AVC（Ultra Light Steel Auto Body-Advanced Vehicle Concept）项目，在白车身上的双相钢用量达到 75% ~ 80%，双相钢的研究开发意义才真正被人们时刻认识，并展现了在汽车轻量化中的重要作用和应用前景。北美以美国和加拿大为代表，对双相钢进行了深入研究和大量生产。早期的美国受到连续退火设备的限制，所以在钢中加入 V、Mo 合金元素提高淬透性，经双相区加热后，空冷到室温形成热处理双相钢。最具代表性的有含 Mo 双相钢和含 V 双相钢。热轧双相钢则是以美国 Climax 公司开发的 C-Si-Mn-Cr-Mo 系中温卷取双相钢 ARDP 为代表^[8,9]。通用汽车公司和福特汽车公司用双相钢制造轮辐，除质量减轻 11% 外，疲劳寿命也达到普碳钢的两倍。同时，麻省理工学院、加利福尼亚大学、匹兹堡大学、科罗拉多矿业研究院也参与了双相钢的研究工作^[10]。

日本在双相钢上的研究和应用一直处于世界领先地位。由于日本有先进的连续退火生产线，多以热处理双相钢生产为主，采用 C-Mn 或 C-Si-Mn 系，其成本非常具有优势。日本的热轧双相钢以低温卷取为主，大大减少了 Cr、Mo、V 等合金元素的加入量，用其制造的车轮成型性好；构件的疲劳寿命也大幅提高。代表有川崎制铁研发的 HHLY，日本钢管开发的 NKHA，新日铁的 SAFH、EGSAFH，以及住友金属的 SHXD 热轧双相钢^[11]。

西欧双相钢生产与北美类似，主要以热轧双相钢为主。代表有意大利特柯赛德钢公司的 Mn-Si-Cr-Mo 系、Mn-V 系；法国尤西诺钢公司的 Usilight80 等^[12]。

我国从 1978 年起对双相钢的变形特性、轧制变形模式、强化原理及断裂特性进行了研究，“七五”期间也将双相钢的开发与应用研究列入了国家科

委重点攻关项目。鞍钢承担并完成了 640MPa 级直接热轧双相钢的开发与应用研究项目，本钢完成了 590MPa 热轧双相钢的研制，武钢完成了 540MPa 级热轧双相钢的研制^[13]。

鞍钢研制的 SX65 是当时国内强度级别最高的冲压用钢^[14]，力学性能达到 20 世纪 80 年代国际先进水平。该钢种在鞍钢半连轧热轧机组生产线上生产，采用了中温卷取。鞍钢还用罩式退火炉试制了中 540MPa 级冷轧双相钢 SX55，其 $\sigma_{0.2} \leq 380\text{MPa}$ 、 $R_m \geq 540\text{MPa}$ 、 $A \geq 26\%$ 。

宝钢在 1992 年采用 2050 热连轧机试轧了一炉双相钢，用于北京吉普车车轮的生产。10 多年来，宝钢双相钢开发取得了实质性突破，成功开发了 DP500、DP590 等。2004 年宝钢又在全国率先开发出 600MPa 级热镀锌双相钢（包括纯锌和合金化产品），已为菲亚特轿车供货^[7]。但双相钢性能的稳定性还有待进一步提高。

武钢开发的 RS50 和 RS55 两个 490MPa 和 540MPa 级钢种，在第一汽车集团公司 CA141 汽车上使用，用于制作纵梁、横梁和轮辐，其冲压性能良好。该公司还开发了 S070Mn 冷轧双相钢，用于北京吉普车作冲压件原材料，试验结果比较理想。上海大学与上钢三厂合作也在中板轧机上开发试制了 Si-Mn 系、Si-Mn-Cr 系热轧双相钢中板^[15]。

热轧线上控冷精度的提高以及卷取温度的合理控制，使热轧双相钢的生产也变得容易，使双相钢可以得到更广泛的应用。

双相钢主要用于对成型性能有较高要求的结构件（DP600、DP800、DP980），如纵梁、横梁和加强件等汽车零件。随着技术的进步，也逐渐开始被用于汽车外露件，如内外板（DP450、DP500）等，比标准钢种的抗凹陷能力高 20%，具有 15% 的减重潜力。

1.2.2 双相钢组织特征

双相钢（DP 钢—Dual Phase Steel）是指由低碳钢或低碳合金钢经过临界区热处理或控制轧制工艺而得到的，主要由铁素体（F）和少量马氏体（M）组成的先进高强度钢。因此，双相钢的典型组织特征是：由铁素体和马氏体两种组织构成，见图 1-2。较软的铁素体为基体，占多数（一般多于 80%）；较硬的马氏体相弥散均匀分布于铁素体晶粒界或晶内，多呈岛状。