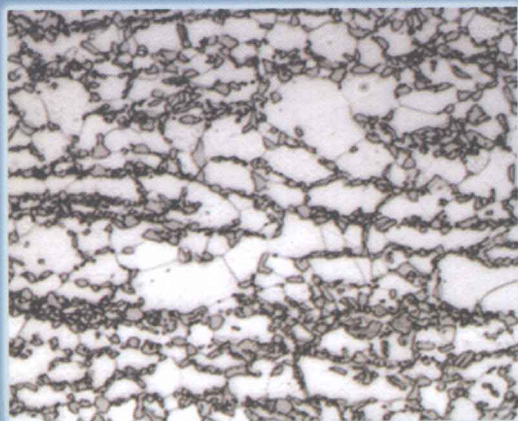


相变诱发塑性钢的 组织性能

景财年 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

内 容 简 介

本书详细介绍了汽车用相变诱发塑性钢的组织性能及研究进展。第1章主要介绍了汽车工业的发展及对钢板的需求,几种典型的先进高强度钢板和发展趋势,以及我国先进高强度钢板的应用和发展情况;第2章主要介绍了相变诱发塑性钢的原理及生产、成分和性能特点及影响因素;第3~5章为工艺参数对相变诱发塑性钢组织性能的影响,不同合金系相变诱发塑性钢的组织性能特点;第6章重点论述了相变诱发塑性钢中残余奥氏体的稳定性。

本书可供高等院校、科研院所、汽车厂商和钢铁企业中从事汽车用钢研究的同行参考,也可作为高等院校材料科学与工程、冶金工程等相关专业本科高年级和研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

相变诱发塑性钢的组织性能/景财年著. —北京:冶金工业出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-5024-6002-0

I. ①相… II. ①景… III. ①相变—塑钢—组织性能
(材料)—研究 IV. ①TG142.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 159026 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 李 梅 李 臻 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 禹 蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6002-0

北京百善印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012 年 8 月第 1 版, 2012 年 8 月第 1 次印刷

148mm×210mm; 5.5 印张; 134 千字; 164 页

23.00 元

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

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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

汽车工业作为国民经济的重要支柱产业，在社会现代化发展进程中起着不可替代的作用。近十年来我国汽车工业发展成绩斐然，2009年首次成为全球最大的汽车产销市场，至今已连续三年成为世界第一汽车产销大国。但汽车产销量的增长、汽车保有量的增加也给环境和资源带来了很大的压力，节能减排刻不容缓。如何制造质量轻、能耗低、安全性好的汽车是目前汽车业必须面对的课题。

汽车轻量化是减少燃油消耗和降低排放的有效途径，已经成为世界汽车发展的潮流。汽车轻量化和减量用钢引发了高强度钢代替普通碳素钢的变革，相变诱发塑性钢作为先进高强度汽车板的代表，具有复相组织和高的强塑积，特别是研制出的低碳硅锰系相变诱发塑性钢，降低了钢的生产成本，将塑性成型和热处理一体化技术应用在相变诱发塑性钢上，更将提高其性能，促进工业化生产和应用。因此，人们希望有一本较全面介绍相变诱发塑性钢的图书，以供从事汽车用高强度钢研究的同行参考。作者将从事此项工作的所得撰写成书，以满足这方面的需求。

由于作者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

作 者
2012年4月

目 录

1 汽车用先进高强度钢板发展概述	1
1.1 汽车用钢板的发展	1
1.1.1 汽车工业的发展及对钢板的需求	1
1.1.2 汽车轻量化及节能减排	4
1.1.3 先进高强度钢板在汽车中的应用	7
1.2 先进高强度钢板	9
1.2.1 DP 钢	10
1.2.2 TWIP 钢	13
1.2.3 马氏体钢	15
1.2.4 热成型钢	16
1.2.5 CP 钢	18
1.2.6 Q&P 钢	19
1.2.7 先进高强度钢板的发展趋势	22
1.3 我国先进高强度钢板的应用和发展	23
参考文献	25
 2 相变诱发塑性钢	 31
2.1 相变诱发塑性钢的原理及生产	31
2.1.1 TRIP 效应	33
2.1.2 热轧相变诱发塑性钢的生产	34
2.1.3 冷轧相变诱发塑性钢的生产	35
2.2 相变诱发塑性钢的成分和性能特点	36
2.2.1 相变诱发塑性钢的合金元素及作用	36
2.2.2 相变诱发塑性钢的性能	42
2.3 相变诱发塑性钢中的残余奥氏体	45

II ----- 目 录

2.3.1	亚稳残余奥氏体的形成	45
2.3.2	钢中残余奥氏体的测量	47
2.3.3	残余奥氏体向马氏体转变的动力学模型	49
2.4	相变诱发塑性的影响因素	51
2.4.1	残余奥氏体特征对相变诱发塑性的影响	51
2.4.2	贝氏体对相变诱发塑性的影响	53
2.4.3	应力状态对相变诱发塑性的影响	54
2.4.4	温度对相变诱发塑性的影响	54
2.4.5	工艺过程对相变诱发塑性的影响	56
	参考文献	58
3	相变诱发塑性钢的热模拟和双相区退火研究	69
3.1	热模拟技术	69
3.1.1	热膨胀仪	69
3.1.2	相变诱发塑性钢的相变点	69
3.1.3	相变诱发塑性钢的相变过程	72
3.2	相变诱发塑性钢的热模拟研究	75
3.2.1	双相区退火的热模拟研究	75
3.2.2	贝氏体区退火的热模拟研究	80
3.3	相变诱发塑性钢的再结晶试验	83
3.3.1	再结晶理论	83
3.3.2	铁素体再结晶试验	85
3.4	双相区退火对相变诱发塑性钢组织性能的影响	89
3.4.1	相变诱发塑性钢的双相区退火	89
3.4.2	双相区退火对相变诱发塑性钢组织的影响	91
3.4.3	双相区退火对相变诱发塑性钢力学性能的影响	96
3.4.4	双相区退火对相变诱发塑性钢 n 值的影响	99
	参考文献	104
4	贝氏体区退火对相变诱发塑性钢组织性能的影响	107
4.1	相变诱发塑性钢的贝氏体区退火	107

4.1.1	相变诱发塑性钢贝氏体区退火的作用	107
4.1.2	相变诱发塑性钢贝氏体区退火时的组织转变	108
4.1.3	贝氏体区退火的试验设计	109
4.2	贝氏体区退火对相变诱发塑性钢组织性能的影响	110
4.2.1	贝氏体等温温度和时间对组织的影响	110
4.2.2	贝氏体等温温度和时间对力学性能的影响	118
4.2.3	贝氏体等温温度和时间对 n 值的影响	121
4.3	相变诱发塑性钢贝氏体区退火工艺参数选择	124
4.3.1	TRIP 效应对 n 值的影响	124
4.3.2	考虑 TRIP 效应的贝氏体区退火工艺参数选择	126
	参考文献	127
5	不同合金系相变诱发塑性钢的组织性能	128
5.1	CMnSi - TRIP 钢	128
5.1.1	TRIP 钢合金成分的发展	128
5.1.2	CMnSi - TRIP 钢的组织性能	131
5.2	CMnAl - TRIP 钢	135
5.2.1	磷、硅对 CMnAl - TRIP 钢组织性能的影响	135
5.2.2	铜对 CMnAl - TRIP 钢组织性能的影响	140
5.2.3	钴对 CMnAl - TRIP 钢组织性能的影响	143
5.2.4	钼对 CMnAl - TRIP 钢组织性能的影响	146
5.3	CMnAlSi - TRIP 钢	148
5.3.1	碳元素对 CMnAlSi - TRIP 钢组织性能的影响	148
5.3.2	碳元素对残余奥氏体含量和 n 值的影响	149
	参考文献	151
6	相变诱发塑性钢中残余奥氏体的稳定性	155
6.1	残余奥氏体的稳定性	155
6.2	工艺参数对残余奥氏体力学稳定性的影响	156

IV ----- 目 录

6.2.1 贝氏体等温温度对残余奥氏体力学稳定性的影响 ...	156
6.2.2 贝氏体保温时间对残余奥氏体力学稳定性的影响 ...	158
6.3 合金成分对残余奥氏体力学稳定性的影响	160
6.3.1 磷、硅对残余奥氏体力学稳定性的影响	160
6.3.2 层错能对残余奥氏体力学稳定性的影响	162
参考文献	163

汽车用先进高强度钢板发展概述

1.1 汽车用钢板的发展

1.1.1 汽车工业的发展及对钢板的需求

1768 年瓦特发明了蒸汽机为汽车的出现奠定了基础。1886 年德国工程师本茨为世界上第一辆汽车申请了专利，并且开始试跑。同年，德国工程师戴姆勒发明了世界上第一辆四轮汽车。之后，生产汽车的公司便在欧洲悄然兴起。1889 年法国标致汽车公司成功研制出齿轮变速器、差速器，1891 年法国人首次采用前置发动机后轮驱动，开发出摩擦片式离合器，1894 年法国人米其林兄弟发明了可充气的汽车轮胎，1898 年雷诺发明了汽车传动轴等，这一系列的发明都促进了汽车工业的发展。

随后的汽车工业发展经历了三次巨大的变革。第一次变革——流水线大批量生产。1908 年福特汽车公司推出了 T 型车，T 型车的各种零件首次被设计成统一规格，实现了总成互换；装配方法也从以前的总成装配法变成了由机械传送带传送零件和工具的流水线装配法，极大地提高了工作效率。1913 年，福特公司建成了世界上第一条汽车装配流水线，使得 T 型车得以大批量生产。同时，汽车工业的发展阵地由欧洲转向了美国。第二次变革——汽车产品多样化。当时的欧洲人对美国汽车称雄世界非常不满，但是因为他们不能大批量生产，所以在价格上不具备竞争力。于是他们开始在汽车品种、车型风格以

及某些性能上发挥他们的优势,开发出很多新的技术,例如发动机前置前驱动、后置后驱动、承载式车身等。另外,他们还开发了很多各种样式的新型车,如德国大众的甲壳虫等。产品多样化成为他们最大的优势,也使得汽车市场由美国转向了欧洲。第三次变革——精益的生产方式。朝鲜战争爆发以后,日本成为美国军需的一个重要供应基地,这极大地刺激了日本汽车工业的发展。20 世纪 60 年代,丰田汽车公司探索出一种新的模式,将生产过程的各个环节联系在一起,组成一个完整体系。这种体系颠覆了之前在大量生产方式体制下的经营思想,以不断地降低成本、无废品、零库存和无止境的产品更新为追求目标。这一思想逐渐普及到日本整个制造业,使得日本成为汽车王国。纵观汽车工业一百多年来的发展,可以说汽车诞生于德国,成长于法国,成熟于美国,兴旺于欧洲,挑战于日本。

图 1-1 为现代汽车使用材料的比例^[1]。由图 1-1 可以看出,汽车工业需要的原材料主要为钢铁,约占总材料的 60%。与其他材料相比,钢铁材料不仅有较好的塑性、韧性、焊接性,而且强度高、成本低、可循环性好,所以钢铁材料在汽车工业中有不可替代的作用。每辆轿车所用钢板按 600 ~ 800kg 计算,2011 年我国汽车产量为 1841.98 万辆,共消耗钢板约 1474 万吨。由此可见,汽车工业是消耗钢板非常大的产业。随着汽车工业的发展,对钢板的需求也在不断

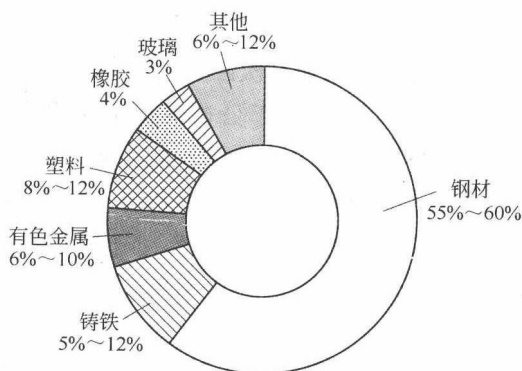


图 1-1 现代汽车使用材料的比例

地变化。20 世纪五六十年代，对钢板的主要要求是避免开裂。到了 20 世纪 60 年代后期，由于汽车产量的剧增以及生产的自动化，对汽车用钢板的要求是能够保证零件的精度和尺寸的稳定性，所以开发了低屈服强度以及高成型性的钢板。70 年代发生了两次石油危机，使得汽车工业开始重视节能汽车的开发。到了 80 年代后期，随着汽车废气排放法律法规的健全，以及人们对环境保护的重视，高强度钢板在汽车工业中得到广泛的应用。目前，发达国家汽车工业中高强度钢板的使用已经达到钢板总重的 35% 以上。

用于制造汽车的钢板简称汽车板。汽车板是生产汽车最主要的原材料，发达国家板材产量的 50% 以上是供应给汽车制造厂的。目前，全球汽车制造业在全球所消费的钢材已超过了 1 亿吨，加上生产汽车部件所消费的钢材，全球每年仅汽车行业消费的钢材就超过 1.5 亿吨。由于汽车板的生产和应用数量较大，汽车板的技术发展日新月异，所以汽车板的数量和技术水平在一定程度上代表了一个国家的钢铁工业发展水平。

汽车用钢板按生产工艺特点划分为热轧钢板、冷轧钢板和涂镀层钢板；从强度角度可划分为：普通钢板（软钢板）、低合金高强度钢板（HSLA）、普通高强度钢板（高强度 IF 钢、BH 钢、含磷钢和 IS 钢等）和先进高强度钢板（AHSS）等，前三类钢种目前在国内外的应用均已趋于成熟，第四类钢中的部分钢种如 DP 钢、TRIP 钢、CP 钢、马氏体钢等在国际、国内均处于研制趋于成熟和推广应用阶段，部分钢种还处于研制起步阶段。

汽车用钢板为适应现代汽车减重、节能、防腐、防污染、防噪声和安全舒适的发展趋势，必须具备一系列质量上的特殊要求，主要有以下几方面：

(1) 成型性能，即具有高的塑性应变比（ r 值），高的应变强化指数（ n 值），高的伸长率和抗拉强度，低的屈服点和时效指数。 n 值大，表示材料的变形抗力随变形的进展而增大的速度快。因此，在同样的条件下， n 值大的材料在成型中不易出现局部的集中变形和破坏，能扩展变形区，使变形均匀稳定； r 值大的材料，厚度变薄量

小，起皱的趋向降低。只有满足这样的质量要求，才能承受不同应变状态下的冲压成型，用来生产复杂的汽车覆盖件。

(2) 焊接性能。保证零件有效地连接及焊点周边区域强度和性能不发生大的变化，同时保证在自动生产线上快速有效地进行各零部件的连接装配。

(3) 耐蚀性。目前，汽车制造业规定的汽车车体表面涂层耐蚀时间为 5 年、车体穿孔耐蚀时间为 10 年。汽车用钢板的耐蚀性是决定汽车使用寿命的主要因素，汽车用钢板应具有耐大气腐蚀和盐水腐蚀的能力。

(4) 抗凹陷能力和结构刚度。一定的抗凹陷能力可以避免在制造和使用过程中车身发生局部变形产生凹陷；一定的结构刚度可使钢板在突发的碰撞事故中能最大限度地吸收能量，保障人身安全。

(5) 喷涂性。要求钢板材料对油漆和涂层有良好的吸附性能，以求表面美观。

1.1.2 汽车轻量化及节能减排

近年来，随着汽车工业的飞速发展和人们生活水平的提高，汽车已成为人类不可缺少的工具。汽车工业作为国民经济的支柱产业，在社会发展进程中起着不可替代的作用。2009 年中国成功晋升为全球最大的汽车产销市场，2010 年全国汽车产销 1826.47 万辆和 1806.19 万辆，同比分别增长 32.44% 和 32.37%，预计到 2015 年仅国内 12 家汽车集团的汽车产能将达 3250 万辆左右。汽车工业的发展、汽车产量的增长、汽车保有量的增加也给环境和资源带来了很大的压力，主要带来了三大问题：能耗、排放和污染，在国际油价持续攀升和环境污染日益严重的今天，节能减排刻不容缓。同时由于人们对汽车舒适性、安全性等的要求越来越高，如何提高汽车性能，改善汽车安全性也变得十分迫切，如何制造质量轻、能耗低、安全性好的汽车成为目前汽车制造业考虑的重点^[2]。

现代汽车结构、性能和技术的重要发展方向是减重、节能、降低排放和提高安全性。采用的主要方法有^[3~5]：一是动力系统的改进，

包括多种能源的利用；二是轻量化。实验和研究表明^[3]，在其他条件不变的情况下，汽车的质量每减轻 10%，油耗则可下降 8% ~ 10%，排放减少 4% ~ 6%，并且制造成本降低 9% 左右。按照我国目前汽车轻量化材料与技术应用的情况，整车自重减重仍有较大潜力。

汽车轻量化就是指在保证汽车强度和安全性的前提下，尽可能地降低汽车的整备质量，从而提高汽车的动力性，减少燃料消耗，降低污染。汽车轻量化的主要途径有：利用有限元法对局部加强设计，采用轻量化绿色制造技术，采用陶瓷、塑料、铝合金、镁合金等轻质材料，采用高强度钢板来减薄车身的厚度等。

利用有限元法对局部加强设计就是利用有限元分析软件对零件的尺寸、形状及结构进行优化，以达到轻量化设计的目的。通过这种方法可以精确计算毛坯材料的尺寸，优化零件的形状，合理设计材料的布局。

绿色制造技术包括激光拼焊技术、液压成型技术、热成型技术、柔性轧制技术以及其他技术。激光拼焊技术就是根据零部件的设计要求，利用激光能源将不同材质、不同厚度、不同镀层的钢板自动拼合和焊接，以达到材料利用最大化的目的。利用这种技术，减少了材料的消耗，提高了材料利用率，减轻了整车的质量。液压成型技术是指利用液态的水或油作为传力介质或模具使零件成型。这种技术不仅节省了模具的数量，降低了制造模具的费用和时间，而且提高了工件的质量和工艺柔性，使汽车的设计轻量化。热成型技术就是将钢板加热到奥氏体化温度以上，然后利用带有冷却系统的模具对其进行冲压成型，最后快速冷却以得到具有均匀马氏体组织的高强度零件，这种技术可以节省热处理的次数和费用。柔性轧制技术就是利用计算机控制轧辊的间隙，以得到不同厚度的钢板，这种技术节约了材料，提高了材料利用率，同时降低了车身的质量。

轻质材料包括铝合金、镁合金、钛合金等轻金属材料、复合材料以及碳纤维材料等^[5~6]。这些材料密度小，质量轻，可以减轻整车的质量，降低油耗。目前汽车轻量化中应用最广泛的是采用轻质材料。但是这些材料就目前来看具有一些非常难解决的问题。铝镁合金

虽然减重潜力明显优于钢铁材料,但是其成型性能、硬度、焊接性能等与钢铁材料无法匹敌,并且这一问题短时间内不可能得到解决。

高强钢汽车板的大量采用是汽车轻量化最有效的方法^[4]。研究表明,采用高强钢汽车板后抗拉强度从 220MPa 提高到 700MPa,材料厚度从 1.8mm 减小到 1.4mm,而材料可吸收冲击能指数则基本保持不变。汽车减重也与材料强度密切相关。实验数据显示,材料抗拉强度从 300MPa 左右提高到 900MPa 左右,汽车减重率则从 25% 左右提升到 40% 左右。特别是近十几年来,汽车用高强钢的发展速度很快,汽车钢板的平均屈服强度从 1994 年的 170MPa 左右已经增加到 2005 年的 300MPa 左右,并且正在向更高强度的方向发展。可以说,目前汽车上大量应用的一些高强度汽车钢板在 10 年前还没有出现。

第一次世界石油危机后,汽车板高强化的研究工作就已开始。进入 20 世纪 90 年代后,为了适应汽车板高强化的发展趋势,世界各国纷纷开展了高强钢的研发并取得了令人瞩目的进展。其中代表性的汽车轻量化项目有美国的 PNGV (Partnership for a New Generation of Vehicles)、欧洲的 Super Light - Car (Sustainable Production Technologies of Emission Reduced Light Weight Car Concepts)、国际钢铁协会成立的 ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) 等项目。

日本于 1997 年启动了“超级钢铁材料”的国家研究计划,为期 10 年,其主要目的是实现钢铁材料的“强度翻番,寿命翻番”。同年,日本通产省基础产业局又安排了以日本五大钢铁公司为骨干的“超级金属”研发项目,其目标是通过新工艺细化钢的金相组织来提高钢的强韧性能,并计划在 5 年内形成“材料微观领域显微组织的控制制造技术”。

在日本超级钢项目的影响下,韩国在 1998 年启动了“21 世纪高性能结构钢”的国家项目,为期 10 年,这是以 POSCO 钢铁公司为主体的国家项目。欧盟则在 2001 年启动了“超细晶钢”项目,由意大利、英国、德国和比利时等国的研究机构参加,欧洲一些钢铁企业和汽车制造企业从工业界加以推进。通过材料开发及相关工艺技术的开发应用,上述项目得以成功实施,使钢铁材料在汽车工业中的龙头地

位得以稳固，并从一定程度上引导了汽车厂商采用高强度钢板进行轻量化的工作，加快了高强度钢板在汽车上的使用进程。在代表汽车用钢未来发展方向的新车型 C 级车和 PNCV 级车中，相变强化的双相钢（DP 钢）占整个结构用钢的比例在 74% 左右，600MPa 以上的超高强钢占 75% 以上。所以采用高强度钢板代替普通钢板来减薄车身的厚度使汽车轻量化是最有效、最可行的办法。

1.1.3 先进高强度钢板在汽车中的应用

20 世纪 70 年代爆发了第四次中东战争，并因此引发了波及全世界的石油危机，对各国的工业特别是汽车制造业造成了巨大的影响。从此以后，汽车制造业将汽车轻量化作为汽车发展的主攻方向，并且引发了高强度钢（HSS: High Strength Steel）代替普通碳素钢的变革。

图 1-2 显示了各种高强度和超高强度钢板的屈服强度和断后伸长率的关系。图中高强度钢板定义为屈服强度在 210 ~ 550MPa 之间，超高强度钢板定义为屈服强度大于 550MPa^[7,8]。由图 1-2 可见，DP、CP 以及 TRIP 钢板属于先进高强度钢板，它们不仅有较高的强度而且具有较高的断后伸长率，所以不断受到汽车制造商的关注。特别是 TRIP 钢更是以低廉的价格、优良的高速力学性能和疲劳性能而受到现代汽车制造业的青睐^[8~10]。

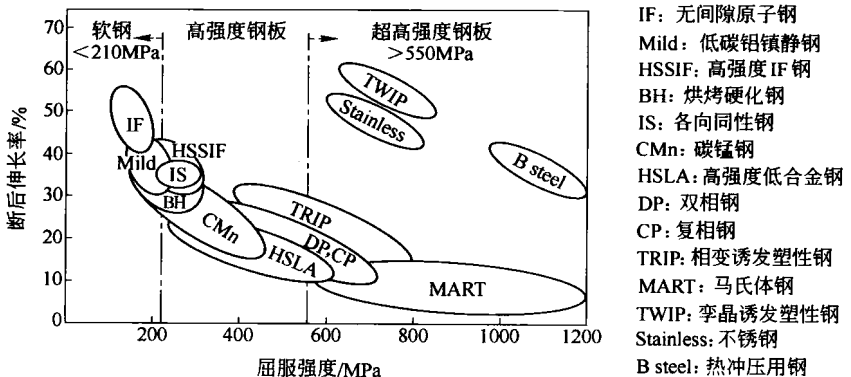


图 1-2 各类汽车用钢板的屈服强度和断后伸长率的关系

20 世纪 90 年代, 在 18 个国家 35 家大型钢铁公司的大力支持下, 国际钢铁协会成立了 ULSAB (Ultra Light Steel Auto Body) 协会, 即轻量化钢车身协会。其目标就是共同研究开发先进高强度钢, 使得在不增加成本的前提下, 减轻车身的质量, 提高汽车的安全性^[11]。由国际钢铁协会组织的汽车轻量化项目主要包括超轻钢白车身 (ULSAB)、超轻钢覆盖件 (ULSAC)、超轻钢悬挂件 (ULSAS) 和在此基础上的超轻钢概念车项目 (ULSAB - AVC), 在超轻钢概念车计划中, AHSS 钢的使用比例大幅度增加, 从整体上改善了汽车用钢的结构。汽车轻量化项目在国际钢铁协会的统一协调下工作, 委托位于美国底特律的保时捷工程服务中心执行开发, 其中中国宝钢作为中国大陆唯一的钢厂参加了其中的部分项目。汽车轻量化项目于 1994 年开始, 到 2002 年结束, ULSAB 项目取得的主要成果是: 车身结构的抗扭和抗弯强度分别提高 80% 和 52%, 车重减少 25%, 车身结构造价降低 15%^[12]。在这之后, 安赛乐和蒂森钢厂结合自己的技术特点, 分别开展了钢概念轻量化白车身的项目研究, 即 ABC (Arcelor Body Concept) 和 NSC (New Steel Concept)。其共同特点是, 通过大量采用高强度钢板均实现了减重 20% ~ 25% 的效果^[13]。

在 ULSAB - AVC 项目中, 白车身 100% 采用了高强度钢板, 其中超过 60% 为超高强度 (抗拉强度大于 590MPa) 钢板; ABC 项目中, 90% 采用了高强度钢板, 其中超高强度钢板的比例为 57%; NSC 项目中, 84% 采用了高强度钢板, 其中超高强度钢板的比例为 25%。图 1-3 为各种钢材在 ULSAB - AVC 中的使用情况, 其中 DP 钢占到 75%, 并且还使用了 4% 的 TRIP 钢。欧洲的汽车制造商使用高强度钢的比例已经超过 40%, 并且有逐渐加大的趋势。宝马 3 系列所用的汽车材料的平均最低屈服强度从 1997 年的 178MPa 到 2004 年的 294MPa, 增长了 65%, 高强度钢的使用比例大幅度增加。为满足欧洲被动安全法规要求, 宝马汽车公司在 2005 年推出的新车型中大幅度提高了高强度钢板的应用比例。美国通用汽车公司车身所用低碳钢的比例也由以前的 78% 降低到 40%, 高强度钢的比例提升了近 20%。日本的汽车公司在 2000 年前后已经将 DP 钢和 TRIP 钢等先进

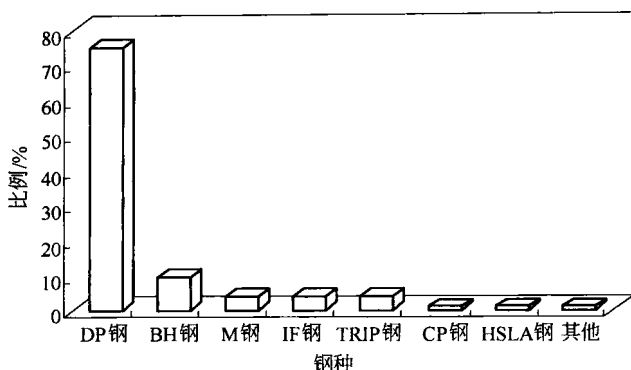


图 1-3 ULSAB - AVC 的用钢比例

高强度钢板用于量产汽车，并将先进高强度钢板应用比例的提升作为新车型规划的重要内容。在新车型筹划阶段即对相应的高强度钢品种进行充分试验，以保证在新车型推出时，同步实施高强度钢板在各类零件上的应用。

1.2 先进高强度钢板

对于先进高强度钢板，目前尚无统一的定义和分类方法。在应用较为广泛的国际钢铁协会先进高强钢应用指南第 3 版中，将高强钢分为传统高强钢板（Conventional HSS）和先进高强钢板（AHSS）。其中传统高强钢板主要包括碳锰（C - Mn）钢、烘烤硬化（BH）钢、高强度无间隙原子（HSS - IF）钢和高强度低合金（HSLA）钢；先进高强钢板主要包括双相钢（DP 钢）、相变诱导塑性钢（TRIP 钢）、马氏体钢（M 钢）、复相钢（CP 钢）、热成型钢（HF 钢）和孪晶诱导塑性钢（TWIP 钢）等。

高强钢还可按照屈服强度的不同来分类。如德国 BMW 公司按屈服强度大小将高强钢分为高强度钢板（HSS）、先进高强度钢板（AHSS）和超高强度钢板（UHSS）。屈服强度高于 180MPa（包括 180MPa），低于 300MPa 的钢板为高强度钢板；屈服强度高于 300MPa（包括 300MPa），低于 600MPa 的钢板为先进高强度钢板；屈服强度

高于 600MPa (包括 600MPa) 的钢板为超高强度钢板。而 ULSAB 组织按屈服强度大小将高强度钢板分为两类: 屈服强度为 210 ~ 550MPa 的钢板定义为高强度钢板 (HSS); 屈服强度大于 550MPa 的钢板定义为超高强度钢板 (UHSS)。

国内对汽车用高强度钢板的分类方法倾向于国际钢铁协会, 将高强度钢板分为两类: 普通高强度钢板和先进高强度钢板, 普通高强度钢板的抗拉强度或屈服强度相对较低, 以固溶强化和析出强化为主要强化方式, 先进高强度钢板以相变强化为主要强化方式, 通过适当的热处理工艺控制钢的显微组织, 以得到高强度、高塑性, 所含钢种也与国际钢铁协会的两类钢相同。

近年来, 第三代汽车用钢板的称谓逐渐为人们所接受。强塑积 (即抗拉强度与伸长率的乘积) 作为汽车用钢板的一个综合性能指标, 它直观地表达了汽车用钢板的成型能力和碰撞中吸收形变能的大小, 因而越来越受到材料研究人员和汽车设计人员的重视。根据强塑积的大小, 人们将强塑积为 10 ~ 20GPa% 的 IF 钢、DP 钢、TRIP 钢和马氏体钢等称为第一代汽车用钢板, 而将强塑积为 50 ~ 70GPa% 的奥氏体钢和 TWIP 钢称为第二代汽车用钢板。具有较低强塑积的第一代汽车钢已经不能满足汽车工业未来发展对轻量化和高安全的双重要求。第二代汽车用钢板虽然具有高的强塑积, 但由于添加了大量的 Cr、Ni、Mn、Si 和 Al 等合金元素, 其总合金含量高达 25% 以上, 导致其成本较高、工艺性能较差及冶金生产困难较大。为了节约资源、降低成本, 适应汽车轻量化和提高安全性能的要求, 迫切需要研发成本接近第一代汽车用钢板而性能接近第二代汽车用钢板的低成本高强度高塑性的第三代汽车用钢板, 美国学者 Krupitzer 和 Heimbuch 率先提出了具有高强塑积性能的第三代汽车用钢板的概念, 作为未来新型汽车钢的研发方向, 目前世界范围内掀起了对具有高强塑积性能的第三代汽车用钢板的研发热潮。

1.2.1 DP 钢

双相钢 (Dual Phase Steel) 是由低碳钢和低合金钢经两相区热处理