

QICHE YONG GANG YINGYONG JISHU

汽车用钢应用技术

姚贵升 景立媛  编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



汽车用钢应用技术

姚贵升 景立媛 编著



机械工业出版社

本书从应用的角度出发介绍了汽车用钢的工艺性能、力学性能、冷轧薄钢板、冲压用热轧钢板、渗碳钢、感应加热、淬火表面硬化钢、调质钢（轴类零件用钢）、非调质结构钢、硼钢、弹簧钢、易切削钢、冷敏用（紧固件用）钢、气阀用钢、钢管等，共16章。并在相关各章后以附录的形式介绍了我国和各发达国家的相应标准，以便读者查阅。

本书内容丰富，实用性强。可供汽车制造和汽车维修及科研单位的工程技术人员查阅，也可供有关大专院校师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

汽车用钢应用技术/姚贵升、景立媛编著. —北京：机械工业出版社，2007.7

ISBN 978-7-111-21887-6

I. 汽… II. ①姚…②景… III. 汽车—工程材料—钢板—研究
IV. U465.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 106911 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：张秀恩 王兴垣 责任编辑：王兴垣 版式设计：霍永明
责任校对：李秋荣 张 媛 封面设计：陈 沛 责任印制：杨 曦
北京机工印刷厂印刷（兴文装订厂装订）

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·35 印张·1368 千字

0 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-21887-6

定价：96.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）68351729

封面无防伪标均为盗版

前 言

我国汽车工业从1953年第一汽车厂奠基开始,经过了半个多世纪的历程,已经有了很大的发展,特别是近几年,更有了飞跃的发展,到2006年产量已经达到700多万辆,居世界前列。

在汽车生产中,钢材仍是汽车制造的主要材料,约占总用材量的50%~70%。目前,世界各国汽车的发展都向减轻自重,降低材料和能源消耗,减少排放,提高安全性和循环经济的方向发展。

汽车用钢可以分为两大类,一类为钢板,它的用量大,多用于车身、车架和车轮,对它们的主要要求是满足使用要求的力学性能和满足冲压工艺要求的成形性能,这些性能绝大部分是通过钢厂的生产工艺(炼钢、轧钢和热处理)来得到的。钢板到汽车厂后一般只进行冲压成形、焊接、涂装等生产工艺,不再进行改变钢板性能的热处理。但是,为了了解钢板的性能及影响性能的因素以便合理的选用,对钢板的生产过程也要有所了解。

近来,钢板受到铝材和高分子材料的严重挑战,为了减轻汽车自重,轿车车身可以采用铝板和SMC复合材料制造,并有逐步扩大其应用范围的趋势。面对挑战,钢铁工业并没有退缩,采取了强有力的对策,全球多家钢铁企业参加了“钢制超轻汽车车身(Ultralight Steel Auto Body) ULSAB”开发项目,他们自1999年与汽车厂实施合作以来,取得了丰硕成果,广泛采用无间隙原子钢(IF钢)及以它为基础的高强度钢、烘烤硬化钢(BH钢)、双相钢(DP钢)和相变诱导塑性钢(TRIP钢),不但提高了冲压成形性能、冲制出形状复杂的零件,而且提高了强度以满足汽车零件的使用要求,并提高了其使用寿命,提高汽车碰撞时吸收能量的性能以增加安全性,同时减轻了汽车的自重,从而降低了油耗,以排量为1.5L的轿车为例,重量由1147kg降至933kg。

另一类钢材为各种结构钢棒材,这些钢材在汽车上用于受力的结构零件,如轴类、齿轮等。它们在汽车厂还要经过锻造、切削加工和热处理等生产工序,最终的力学性能通过汽车厂的生产工艺来得到,但也受到钢材的本质性能(如化学成分、纯净度、稳定性、淬透性和晶粒度等)的影响。近来,钢厂在生产这类钢材时采用炉外精炼,真空处理,微机控制生产工艺等措施来提高钢材的

IV

本质性能。

对上述两大类钢材,国内钢厂和汽车厂多年来进行了许多研发工作,特别是近十多年来我国先后从国外引进了许多轿车车型和载货汽车车型,并建立了一些合资企业,对这些车型所用钢材的国产化,钢厂与汽车厂合作进行了大量的新钢种开发工作,取得了显著的成果,很多钢种已成功地实现了国产化,对上述工作进行总结并介绍给国内有关单位可能起到参考作用。

作者在第一汽车制造厂工作近半个世纪,一直从事汽车用钢的研发工作和材料技术管理工作,经历了载重货车和轿车用钢材的国产化过程,主持并参与过很多新钢种的研发,在工作的同时阅读了大量的国内外文献,了解国内、外汽车用钢的发展趋势,作者拟从钢材使用的角度出发,将多年来积累的应用钢材的经验加以总结,提供给从事汽车钢材生产和使用的同行参考,也许会有所帮助。

近年来,国内出版了很多钢材手册,这些手册列举了国内、外各种钢材(包括汽车用钢)标准中的成分和性能数据,但是很少对这些数据进行解读和如何根据这些数据选用钢材。作者编写本书的用意就是论述汽车用钢的要求、性能和影响性能的各种因素以及如何根据零件的生产工艺和使用的工况选用钢材。

全书共分以下几个主要部分:汽车生产对钢材提出的共同要求;钢材的主要工艺性能要求(如锻造、切削加工和热处理)及其影响因素;钢材的力学性能(如强度、韧性和疲劳性能),因为在以后论述各种钢材的性能时要涉及到强度、韧性和疲劳性能的一些概念,所以对它们只作简要介绍;其后对汽车用的钢种如钢板(薄板、中厚板)、齿轮用钢、轴类零件用钢、易切钢、冷锻钢、弹簧钢、气阀用钢……分别加以介绍,论述这些钢的特点、主要性能及其影响因素,以及作者能收集到的国内、外标准中的主要数据。

在本书编写过程中引用了一些国内、外公开发表的文献中的数据,一些国家和厂家制定的钢材标准(其中部分棒材标准的数据取自林慧国等先生主编的《袖珍世界钢号手册》第3版)和汽车零件标准中的数据,中国历届汽车材料年会上发表的文章中的数据和与国内钢厂技术交流时提供技术资料中的数据。在此对有关单位和作者表示衷心的感谢。

本书的钢板部分曾请谭善锟和任湛谋高工审阅,一并致以谢意。

由于工作的局限性,搜集到的资料不全,再加上水平有限,错误和不当之处难免,敬请各界同行和读者指正。

编者

目 录

前言

第 1 章 汽车生产对钢材提出的

共同要求 1

参考文献 11

第 2 章 钢材的工艺性能 12

2.1 概述 12

2.2 钢材的锻造性能 12

2.2.1 硫的影响 13

2.2.2 铜的影响 16

2.2.3 铅的影响 17

2.3 钢材的可加工性 18

2.3.1 根据刀具寿命来判断钢材的可加工性 19

2.3.2 用加工零件的表面粗糙度来评价钢材的可加工性 23

2.3.3 根据切削力来判断钢材的可加工性 25

2.3.4 根据断屑情况来判断钢材的可加工性 27

2.3.5 通过生产试验评价钢材的可加工性 28

2.4 钢材的热处理工艺性能 30

2.4.1 热处理加热时奥氏体晶粒长大倾向 30

2.4.2 热处理的变形 33

2.4.3 热处理时的淬火裂纹 42

参考文献 48

第 3 章 钢的淬透性 49

3.1 钢的淬透性的定义及其重要性 49

3.2 淬透性的表示方法与试验方法 50

3.2.1 用淬硬区域的深度表示

钢材的淬透性 50

3.2.2 用临界直径表示钢材的淬透性 51

3.2.3 用理想临界直径 (D_1) 表示钢材的淬透性 51

3.2.4 用末端淬透曲线 (亦称淬透性能曲线) 来表示钢材的淬透性 51

3.3 影响淬透性的因素 54

3.3.1 化学成分对淬透性的影响 54

3.3.2 根据化学成分计算钢材淬透性 58

3.3.3 奥氏体晶粒大小对淬透性的影响 61

3.3.4 冶炼时脱氧方法对钢材淬透性的影响 62

参考文献 64

第 4 章 钢材的力学性能 65

4.1 钢材的强度性能 65

4.1.1 两种应力, 两种破坏形式, 两种强度 65

4.1.2 外界因素对钢材断裂形式的影响 68

4.1.3 材料的力学状态图 71

4.1.4 钢材的切断抗力 (塑性破坏强度) 性能 72

4.1.5 钢材的正断抗力 S_b (脆性破坏强度) 80

4.2 钢材的脆性 89

4.2.1 钢材脆性的一般介绍 89

4.2.2 外界条件对冲击试验结果的影响 96

4.2.3	钢材的冷脆性	101	5.4	钢板的表面清洁度、涂油情况 和表面形貌对其性能的影响	200
4.2.4	结构钢的回火脆性	114	5.4.1	涂油后钢板表面油量的 变化	201
4.3	钢材的疲劳性能	121	5.4.2	涂油种类、涂油量和钢板 存放时间对钢板成形性能 的影响	205
4.3.1	钢材的疲劳现象及特征	121	5.4.3	润滑剂和表面处理对成 形性能的影响	209
4.3.2	疲劳曲线及疲劳性能 的其他指标	128	5.4.4	钢板的表面形貌对摩擦因 数、成形性能的影响	211
4.3.3	影响疲劳强度的外界因 素	136	5.5	一般冲压用薄钢板(包括 IF 钢)	226
4.3.4	影响疲劳强度的冶金因 素	140	5.5.1	铝镇静钢板(08Al)	227
4.3.5	提高零件疲劳强度的方 法(喷丸强化和滚压强 化)	147	5.5.2	无间隙原子钢板(IF 钢 板)	238
参考文献		153	5.6	汽车用高强度冷轧钢板	255
第 5 章 冷轧薄钢板		155	5.6.1	概述	255
5.1	汽车用钢板	155	5.6.2	国外车身采用冷轧高强度 钢板概况	256
5.1.1	汽车用钢板概况	155	5.6.3	国内车身采用冷轧高强度 钢板概况	266
5.1.2	钢板的生产流程及其对 性能的影响	158	5.7	含磷冷轧高强度钢板	269
5.1.3	对冷轧钢板的要求和选 用时考虑的因素	161	5.7.1	含磷冷轧高强度钢板的性 能和特点	270
5.1.4	汽车用冷轧钢板的发展	169	5.7.2	含磷钢板的成形性能	277
5.2	评定冷轧钢板成形性能的试 验方法	172	5.7.3	含磷冷轧钢板的生产工艺 及其对性能的影响	280
5.2.1	塑性应变比 r 值	172	5.7.4	含磷冷轧钢板的应用概 况	281
5.2.2	应变硬化指数 n 值	173	5.7.5	超低碳含磷钢板	289
5.2.3	杯突试验(艾利克申试验 Erichsen)	173	5.8	烘烤硬化冷轧钢板	292
5.2.4	成形极限图(FLD)	174	5.8.1	概述	292
5.2.5	钢球模拉胀试验(LDH 试验)	176	5.8.2	烘烤硬化性的机理	293
5.2.6	圆筒拉伸试验	177	5.8.3	影响钢板烘烤硬化性能 的因素	294
5.2.7	薄板锥杯试验测定 CCV 值	178	5.8.4	采用烘烤硬化钢板(BH 钢) 改善汽车车身外覆盖件的抗	
5.3	汽车零件冲压成形的分类	179			
5.3.1	冲压成形的分类	179			
5.3.2	典型冲压件成形类别与钢 板性能指标的对应关系	194			

凹陷性能	298	5.13.1 概述	409
5.8.5 BH 钢板的研发与应用		5.13.2 影响激光焊接的因素	409
概况	307	5.13.3 激光焊接对钢板性能的影响	410
5.9 双相钢 (DP 钢)	313	5.13.4 激光焊接钢板毛坯的应	
5.9.1 概述	313	用	412
5.9.2 热加工工艺对金相组织和力学性能的影响	315	附录	416
5.9.3 金相组织和性能的关系	322	附录 5A 汽车用冷轧钢板标准	416
5.9.4 双相钢的成形性能及其应用概况	326	附录 5B 汽车用含磷冷连轧板及钢带标准	437
5.10 塑性变形诱导相变钢 (TRIP 钢)	337	附录 5C 烘烤硬化钢板标准	441
5.10.1 概述	337	附录 5D 双相高强度冷连轧板及钢带标准	446
5.10.2 连续退火工艺对高强度 TRIP 钢性能的影响	338	附录 5E 国内、外镀层钢板的标准	447
5.10.3 TRIP 钢的性能和应用概况	343	参考文献	493
5.11 车身用钢板的抗碰撞性能	354	第 6 章 冲压用热轧钢板	499
5.11.1 概述	354	6.1 梁用热轧高强度钢板	499
5.11.2 钢材在高速拉伸 (高应变速度) 试验时的性能	355	6.1.1 概述	499
5.11.3 用模拟汽车零件形状的样品进行碰撞试验了解钢板的吸收能量的情况	362	6.1.2 冷弯性能与零件冲压结果的关系和试验条件对冷弯性能的影响	502
5.12 汽车用表面镀层钢板	371	6.1.3 夹杂物形态的控制对横向塑性与韧性的影响	505
5.12.1 概述	371	6.1.4 钢板的厚度公差、表面质量和金相组织对冲压成形的影响	516
5.12.2 汽车用镀层钢板 (镀锌板) 的质量要求	376	6.1.5 低合金高强度钢板的强度性能	521
5.12.3 汽车用镀层钢板 (镀锌板) 的种类	382	6.1.6 热轧低合金高强度钢板的疲劳性能	532
5.12.4 热镀锌钢板系列	382	6.1.7 汽车梁用钢板的种类及主要技术要求	538
5.12.5 电镀锌钢板系列	391	6.2 滚型车轮用钢板	543
5.12.6 各种镀锌钢板的性能比较	393	6.2.1 滚型车轮的生产工艺和对钢板工艺性能的要求	544
5.12.7 镀锌钢板的应用概况	398	6.2.2 对车轮用钢板的强度要求	553
5.12.8 汽车排气系统用镀铝钢板	402		
5.13 激光焊接钢板毛坯在轿车生产中的应用	409		

附录 国内外梁用和车轮用钢标准	559
参考文献	568
第7章 渗碳钢	570
7.1 渗碳钢的特点	570
7.2 渗碳钢的加工工艺及其对钢材的要求	571
7.2.1 锻造	571
7.2.2 锻坯热处理	571
7.2.3 渗碳热处理	574
7.3 渗碳钢的力学性能	582
7.3.1 渗碳钢的静弯曲强度	582
7.3.2 渗碳钢的冲击性能	586
7.3.3 渗碳钢的疲劳性能	589
7.3.4 渗碳层的力学性能	629
7.4 渗碳钢主要零件——齿轮的性能、寿命和损坏形式	633
7.4.1 齿轮损坏形式的类型	634
7.4.2 齿轮使用时的磨损与磨损失效	635
7.4.3 齿轮的表面疲劳(接触疲劳、点蚀)损坏	638
7.4.4 齿轮轮齿断裂	641
7.4.5 齿轮工作面塑性变形失效	645
7.4.6 齿轮轮齿的端末损坏	646
7.5 各国渗碳钢的应用情况和性能数据	647
7.5.1 中国渗碳钢的应用情况和性能数据	647
7.5.2 美国渗碳钢的应用情况和性能数据	651
7.5.3 德国渗碳钢的应用情况和性能数据	655
7.5.4 日本渗碳钢的应用情况和性能数据	656
7.5.5 俄罗斯(原苏联)渗碳钢的应用情况和性能数据	661

附录 国内、外的渗碳钢标准	661
参考文献	706
第8章 感应加热淬火表面硬化钢	709
8.1 概述	709
8.2 感应加热表面淬火后的力学性能	711
8.2.1 感应淬火后硬化层的力学性能	711
8.2.2 感应加热淬火后整体样品(包括硬化层加心部)的力学性能	713
8.3 感应加热淬火零件的内应力	717
8.4 感应加热淬火零件的技术要求与质量控制	721
8.5 感应加热淬火零件的质量检验	726
8.5.1 表面硬度检验	726
8.5.2 硬化层深度的检验	728
8.5.3 感应加热淬火零件的金相检验	730
8.6 感应加热淬火用钢	736
8.6.1 低淬透性钢的化学成分特点	736
8.6.2 低淬透性钢的淬透性	737
8.6.3 低淬透性钢的力学性能	739
附录 国内外的感应加热淬火用钢标准	742
参考文献	747
第9章 调质钢(轴类零件用钢)	748
9.1 调质钢的特点	748
9.2 零件的尺寸与钢材的淬透性	750
9.3 淬透性数据的应用——根据淬透性数据选用钢材或确定零件断面硬度分布	751
9.4 调质零件淬透深度和硬度的确定	754

9.4.1 零件淬透深度的确定	754	第 11 章 硼钢	871
9.4.2 调质零件硬度的确定	755	11.1 硼钢的特点	871
9.5 调质钢的力学性能	757	11.2 硼钢的冶炼	871
9.5.1 力学性能	757	11.2.1 电弧炉冶炼硼钢的工艺要点	872
9.5.2 合金元素对力学性能的影响	758	11.2.2 转炉冶炼硼钢的工艺要点	873
9.6 调质钢的实际选用	762	11.3 硼钢的淬透性	874
9.7 各国调质钢的应用情况和性能数据	765	11.3.1 冶炼时脱氧和脱氮情况对硼钢淬透性的影响	874
9.7.1 中国调质钢的应用情况和性能数据	765	11.3.2 钢中硼含量对硼钢淬透性的影响	876
9.7.2 美国调质钢的应用情况和性能数据	769	11.3.3 钢中碳含量对硼钢淬透性的影响	877
9.7.3 德国调质钢的应用情况和性能数据	770	11.3.4 奥氏体化温度(淬火温度)对硼钢淬透性的影响	880
9.7.4 日本调质钢的应用情况和性能数据	770	11.3.5 硼提高钢材淬透性的机理	882
附录 各国标准中列出的调质钢的化学成分、力学性能和淬透性	771	11.4 硼钢的力学性能	884
参考文献	827	11.4.1 硼钢和它所代用的淬透性相同的钢材的力学性能	885
第 10 章 非调质结构钢	828	11.4.2 加硼对钢材力学性能的影响	889
10.1 非调质结构钢的特点	828	11.5 硼钢的应用	895
10.2 非调质钢的力学性能	829	11.5.1 我国研发和应用的 40MnB 和 20Mn2TiB 钢	898
10.2.1 非调质钢的强度性能	830	11.5.2 日本对渗碳硼钢的研发	907
10.2.2 非调质钢的冲击韧性	833	参考文献	911
10.2.3 非调质钢的疲劳性能	839	第 12 章 弹簧钢	912
10.3 非调质钢的工艺性能	841	12.1 概述	912
10.3.1 锻造性能	841	12.1.1 弹簧钢的性能	912
10.3.2 可加工性	841	12.1.2 对弹簧钢的质量要求	914
10.3.3 热处理后的变形	842	12.1.3 弹簧钢的钢种及所含合金元素的作用	915
10.4 非调质钢的新生产工艺	842	12.2 汽车用钢板弹簧	916
10.5 非调质钢的选用及应用实例	847	12.2.1 国内外汽车钢板弹簧材料	
10.5.1 转向节	848		
10.5.2 轻型货车的前梁	849		
10.5.3 发动机连杆	853		
附录 国内外非调质钢的标准	865		
参考文献	869		

的概况及发展趋势	916
12.2.2 钢板弹簧的形状	917
12.2.3 钢板弹簧的疲劳性能	920
12.2.4 钢板弹簧的制造工艺	926
12.3 汽车悬架螺旋弹簧用钢	927
12.3.1 悬架螺旋弹簧的用钢 情况	928
12.3.2 螺旋弹簧的生产工艺	934
12.4 汽车扭杆弹簧	936
12.4.1 扭杆弹簧的结构和工艺 特点	936
12.4.2 扭杆弹簧的材料和热处理 理	937
12.5 发动机气阀弹簧	938
12.5.1 气阀弹簧材料的选择	938
12.5.2 气阀弹簧材料的疲劳性 能	939
12.5.3 气阀弹簧的生产工艺	939
12.5.4 几种常用的气阀弹簧钢 丝	940
12.5.5 气阀弹簧用钢丝和弹簧 生产工艺的新进展	941
附录	944
附录 A 国内外钢板弹簧和悬架 螺旋弹簧用钢的标准	944
附录 B 国内外气阀弹簧钢丝的 标准	961
参考文献	967
第 13 章 易切削钢	968
13.1 易切削钢的特点	968
13.2 自动车用易切削钢	970
13.2.1 冷拔时断面减少率对自 动车用易切钢性能的影响	970
13.2.2 影响自动车用易切钢可 加工性的因素	972
13.2.3 国内自动车用易切削钢 的应用情况	976
13.3 合金易切削钢和优质碳素易 切削钢	977
13.3.1 SCM420 钢 (20CrMo) 的 性能	979
13.3.2 优质碳素钢 (S45C) 的性 能	981
13.3.3 代替含 Pb 易切削钢的含 Bi 易切削钢	982
附录 各国易切削钢的标准	985
参考文献	1004
第 14 章 冷敏用 (紧固件用) 钢	1005
14.1 冷敏工艺的特点	1005
14.2 影响钢材冷敏性能的因素	1005
14.2.1 表面质量的影响	1005
14.2.2 化学成分的影响	1006
14.2.3 金相组织的影响	1006
14.2.4 冷拔量对退火后钢材质 量的影响	1007
14.3 紧固件用材情况	1008
14.3.1 我国紧固件用材	1008
14.3.2 日本紧固件用材	1010
14.3.3 美国紧固件用材	1011
14.4 紧固件用硼钢和微合金钢	1012
14.5 耐延迟断裂高强度和超高强 度螺栓用钢	1019
14.6 高强度螺栓的生产工艺	1026
14.7 高强度螺栓的延迟断裂	1027
14.7.1 延迟断裂现象及机理	1027
14.7.2 应力集中情况和介质对 螺栓延迟断裂的影响	1028
14.7.3 钢材的冶金因素对延迟 断裂的影响	1029
附录 国内外冷敏钢和冷挤后用钢 标准	1035
参考文献	1060
第 15 章 气阀用钢	1062
15.1 气阀用钢的特点	1062

15.2 气阀的工作条件及对材料性能的要求	1062
15.2.1 进、排气阀的工作温度	1063
15.2.2 气阀的腐蚀	1063
15.2.3 进、排气阀的结构特点	1064
15.2.4 对气阀材料的性能要求	1065
15.3 我国汽车工业应用的气阀钢	1066
15.4 马氏体气阀钢	1068

15.5 奥氏体气阀钢	1070
15.5.1 Cr-Ni、Cr-Ni-N、Cr-Ni-P 型奥氏体气阀钢	1070
15.5.2 Cr-Mn-Ni-N 奥氏体气阀钢	1072
附录 国内外气阀用钢标准	1084
参考文献	1099
第 16 章 钢管	1100
16.1 无缝钢管	1100
16.2 电焊钢管	1101
16.3 双层卷焊钢管	1104
参考文献	1107

第 1 章 汽车生产对钢材提出的共同要求

汽车用钢的数量大（汽车工业发达国家汽车工业的用钢量占钢产量的 20% 左右）、品种多（初步估算汽车生产需要的钢种有数十种，钢号几百个，规格几千种），质量要求高，既要满足汽车行驶的使用性能要求，又要满足大量流水生产的工艺性能要求。汽车用钢有两大类，一类为优质结构钢，有碳钢与合金钢，在国内大多数由特殊钢厂用电炉冶炼，原料多为废钢，因此废钢的质量对成品钢材的质量有很大影响，如废钢中的残存元素常带入成品钢中从而影响其质量。另一类为板材，分冷轧钢板和热轧钢板，热轧钢板的厚度多在 3mm 以上，冷轧钢板在 3mm 以下，钢板在普通钢厂生产，从矿石炼铁开始，用高炉铁液作原料，用转炉炼钢，通过热连轧和冷连轧生产出热轧板和冷轧板。

本书主要介绍这两类钢种。此外汽车上还用量钢管，如用无缝钢管生产载货汽车的半轴套管；用电焊钢管制造传动轴管；用少量双层卷焊管（邦迪管）生产刹车管等，这些材料用量很少，本书只作简要介绍。

汽车工业是钢材最重要的用户，但是近年来其他材料如铝、高分子材料和各种复合材料在汽车工业领域中的竞争非常激烈，使得钢材在汽车工业中应用的比例不断下降。表 1-1 为 1980~2000 年美国中型轿车主要材料的构成比。

表 1-1 美国中型轿车主要材料的构成比

年代	钢铁	铝	塑料	其他
1980	69	4.0	9.0	18
1990	60	5.5	12.5	20
2000	51	12.0	18.0	19

图 1-1 为德国家庭轿车用材从 1975~2005 年的变化，从表 1-1 和图 1-1 均可看出，汽车用钢铁材料的比例逐年下降，但其比例仍在 50% 以上。这是由于钢材的成本低，易于加工和回收，原用的生产设备不用更换、同时设计工程师和生产工程师都熟悉它，再加上钢铁工业加大研发力量，不断提高钢材的质量和增加其品种，以满足汽车工业的需要。

汽车用钢传统的主要要求是力学性能、工艺性能和价格。力学性能满足汽车的使用性能和使用寿命的要求，而且零件的工况不同对力学性能的侧重面也不相同，如汽车轴类零件要求钢材热处理后有足够的强度以承受汽车的承载能力，有足够的疲劳性能以保证其使用寿命；汽车的齿轮有良好的耐磨性能、抗

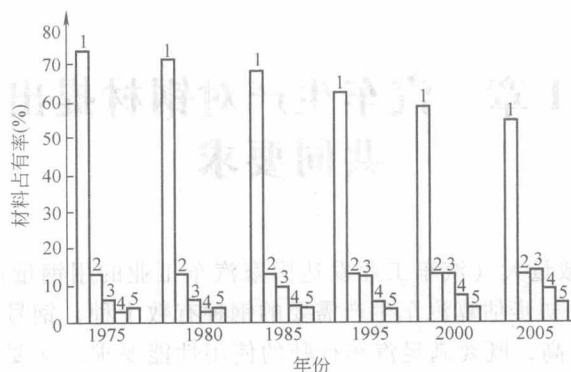


图 1-1 德国轿车用材的变化

1—钢 2—弹性体 3—塑料 4—铝 5—其他非铁金属

弯曲疲劳性能和表面疲劳性能；汽车车身的外表零件要求有足够的抗凹陷性能以抵抗汽车行驶时由于石击而产生的凹坑；整个汽车还需要有良好的抗撞击性能，在撞击时吸收较多的能量以保证人身安全等。工艺性能满足汽车制造工艺的要求，保证有较低的生产成本。制造工艺不同要求钢材的工艺性能也不相同。如零件锻造时希望钢材有良好的高温塑性、变形阻力小、易于成形，有良好的锻造性能；零件切削加工时希望钢材有良好的可加工性，刀具磨损小，刀具寿命长，加工后有良好的表面质量；车身零件和车架零件希望钢板有良好的成形性能，能冲出形状复杂的零件而不发生冲裂和起皱。钢材的价格构成零件的主要成本，钢材的价格低才能使汽车成本低，有市场竞争力，要降低钢材价格首先汽车厂要选材适当，使材料的品质恰到好处，要尽量降低钢材的过剩性能；要尽量减少钢材的品种、规格，使同一品种、规格的定货量大，便于钢厂组织生产，从而降低钢材生产成本；要尽量降低库存，从而降低资金占用。近来，汽车厂要求钢厂在汽车厂建立钢板剪切线并建钢材仓库，钢材直送生产工位，再与汽车厂结算，使汽车厂占用的资金达到最少。

汽车的发展，特别是轿车的发展趋势是更轻、动力性更好、更安全可靠，价格低而污染小。而汽车用户的要求则是价格低、油耗低、乘坐平稳舒适、外形美观和驾驶容易。上述这些要求既对汽车设计和制造工艺，也对所用的材料包括钢材提出了更高的要求。

除了汽车用户对汽车的要求外，目前，世界各国汽车工业生产，特别是轿车的生产都向大批量、高度自动化流水方式生产，只有批量大才能成本低，只有高度自动化，排除人为因素才能效率高质量好，这种生产方式也对钢材提出了越来越高的要求。

用户对汽车提出的高要求和汽车生产方式的自动化。除了对钢材传统的主

要求外，又对钢材提出了更高的要求，为了与轻金属与高分子材料的竞争，钢材的品质也必须有新的提高，而钢材生产技术的创新与研发成果的采用也完全能够全面提升钢材的品质，满足汽车工业发展的需要。

汽车工业的发展对钢材提出的要求及钢厂采取的措施列于表 1-2。

表 1-2 汽车工业发展的要求及采取的措施

汽车工业的要求	满足汽车工业的要求，汽车生产厂和钢厂要采取的措施
降低制造成本	生产合金元素含量低的钢种，牌号的合理化，改善可加工性，改善成形性能，生产减少热处理工序的钢
改善燃油经济性	采用较薄的钢板、减小断面尺寸以减轻重量，生产高强度钢材
改善使用性能	完善设计，采用轻质材料和耐热材料
降低排放	采用不锈钢的触媒转换器
降低振动和噪声	缩小尺寸公差，提高制造精度，控制成分与淬透性能范围，钢材性能更稳定、更一致，采用减振复合钢板
改善安全性	附加特殊的设计，采用高强度钢
改善使用寿命和可靠性	对制造过程进行统计控制，采用更加纯净的钢，提高钢材的强度、韧性、疲劳强度和耐磨性，可以预报材料的性能
汽车外形更美观、呈流线型	采用超深冲 IF 钢板以便冲压更复杂的零件，采用表面无缺陷的“05”钢板，外观更漂亮

根据汽车的发展趋势，汽车用户的要求和汽车生产方式，对汽车用结构钢包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢、冷锻钢……提出以下新的技术要求。

1. 钢的纯净度不断提高

钢中存在的杂质及有害元素如磷、硫、氮、氢和氧等不但降低钢材的力学性能，影响汽车零件的使用寿命，而且有害的夹杂物还会恶化钢材的可加工性和塑性变形性质从而降低生产效率。

钢中硫含量降低可以改善钢材的冷锻性能并能显著地提高钢材的横向塑性和韧性从而改善钢材的各向异性。图 1-2 为硫含量对 SAE4340 钢冲击吸收功的影响。

在冶炼时通过加钙处理改善硫化物的组成和形态也可以改善钢材的横向冲击性能从而减少其各向异性。图 1-3 为加钙处理对钢材冲击性能的影响。

但是硫含量过低的钢材其可加工性将会恶化，所以在一些国家的钢材标准中，对钢材的硫含量有上、下限的规定（如硫含量为 $w_s 0.020\% \sim 0.035\%$ ），为了提高钢材的可加工性，有时把钢中硫含量提高到 $w_s 0.06\% \sim 0.08\%$ （如德国大众公司的 TLVW4125F）。

钢中含氧会形成 Al_2O_3 夹杂物，它硬而脆，变形能力低，所以常常是疲劳裂纹的发源地。如果它存在于高应力区域或正好位于表面下面而且其尺寸超过临界尺寸约 $10\mu\text{m}$ 时危害性更大。夹杂物的有害影响还取决于夹杂物与金属基体膨胀系数的差别。因此对于工作在高载荷、要求疲劳性能高的零件，如曲轴、齿轮和轴承零件的钢材控制夹杂物最为重要。要想降低氧化物夹杂物的数量，最有效的方法是降低钢中氧含量，如把轴承钢的氧含量从 20×10^{-6} 降至 10×10^{-6} 时，可以使轴承钢的滚动接触疲劳寿命成倍的增加。

除了降低氧含量来减少 Al_2O_3 夹杂物从而改善钢材的疲劳性能外，还可以通过加钙处理来对氧化夹杂物进行改性处理来改变夹杂物的组成和形态，从而改善其对疲劳性能的影响。如钢中加钙处理后形成复合的夹杂物，夹杂物的心部为 $\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ 而外围被 $\text{CaS} + \text{MnS}$ 所包围，并且形成球状，从而减少了 Al_2O_3 夹杂物对疲劳性能的影响。

通过真空熔炼提高钢的纯度降低夹杂物含量可以明显地提高钢材的疲劳性能，表 1-3 列出用 SAE4340 钢的试验结果。

表 1-3 熔炼方法对 SAE4340 钢疲劳性能的影响

熔炼方法	电炉熔炼 (大气)	真空熔炼	熔炼方法	电炉熔炼 (大气)	真空熔炼
纵向疲劳极限 σ_{-1L}/MPa	816	977	$\sigma_{-1T}/\sigma_{-1L}$	0.68	0.86
横向疲劳极限 σ_{-1T}/MPa	555	844	硬度 HRC	27	29

上述例子充分说明钢的纯净度对钢的力学性有显著的影响。近年来，由于冶炼技术的发展，特别是钢包内二次冶金技术的发展（包内合金化、喷粉改善硫化物形态和真空处理降低氧、氢和氮的含量）可以使各种有害元素降至很低水平。

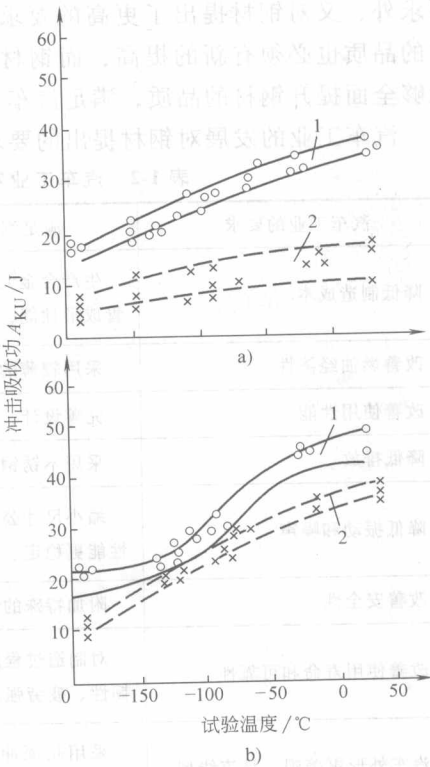


图 1-2 降低钢中硫含量对其冲击韧性

各向异性的影响

a) SAE4340, $w_s 0.02\%$

b) SAE4340, $w_s 0.004\%$

1—纵向 2—横向

钢的纯净度决定钢中非金属夹杂物的数量，而非金属夹杂物的数量又决定于钢中氧和硫的含量。表 1-4 列出的数据表明钢中含氧量和含硫量已经很低，氧化物和硫化物的清洁程度有了很大的改善。但是微小的夹杂物是不可避免的，而且它们有时对钢的性能不仅无害甚至是有利的，如它们可以作为其他相的析出核心，可防止晶粒长大。

2. 钢的性能波动范围小

在大批量、高度自动化的流水式汽车生产中，要求钢材的性能尽可能一致，波动范围小，这不仅是生产工艺的需要，也是产品质量的要求。

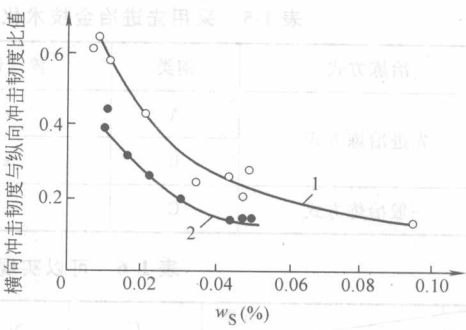


图 1-3 不同硫含量的 4140 钢加钙处理后对其冲击性能的影响
(夏比-V, -20℃)
1—加钙处理 2—一般钢

表 1-4 氧、硫等有害元素的含量水平 (单位: 10⁻⁶)

元素	现达到的水平	将来的目标	元素	现达到的水平	将来的目标
C	15	10	S	< 10	5
O _{total}	< 10	5	N	25	15
H	1.2	0.8			

大批量、流水式生产的高度自动化机床的切削加工要求锻件毛坯的硬度和金相组织尽量一致，最好能控制夹杂物的种类与形态，使之有利于切削加工，因为在这种加工机床上，刀具和切削规范基本是固定的，不能随时调整，否则就会降低生产效率，所以只有毛坯去适应加工条件，而不能改变加工条件去适应毛坯的变化。

齿轮渗碳热处理（或碳氮共渗）后，基本上不再加工，这样就要求热处理变形小而且规律固定，便于切削加工时对尺寸进行修正。要作到这一点，钢材的淬透性能波动范围要窄而且要符合零件的要求，否则无法使齿轮热处理后的变形达到工艺规定的要求，装配后影响齿轮箱的噪声，为此，国内、外各汽车厂生产齿轮用钢材都有自己的标准或和钢厂另有协议，规定钢材的淬透性能范围比国家标准规定的要窄很多，甚至规定同一批料的淬透性能范围更窄。

采用钢包二次冶金、真空处理和微机严格控制成分以及连铸等先进冶金措施可以使化学成分和淬透性能范围控制的很窄，同时氧、氢、氮和硫等有害元素的含量很低。表 1-5 列出采用先进冶金技术得到的结果。

表 1-6 为一种 Ni-Cr-Mo 钢采用先进的冶炼方法生产时化学成分的实测结果，可以看出：C 和 Mo 的波动范围为 ±0.01，Si、Mn、Cr、Ni 为 ±0.02。