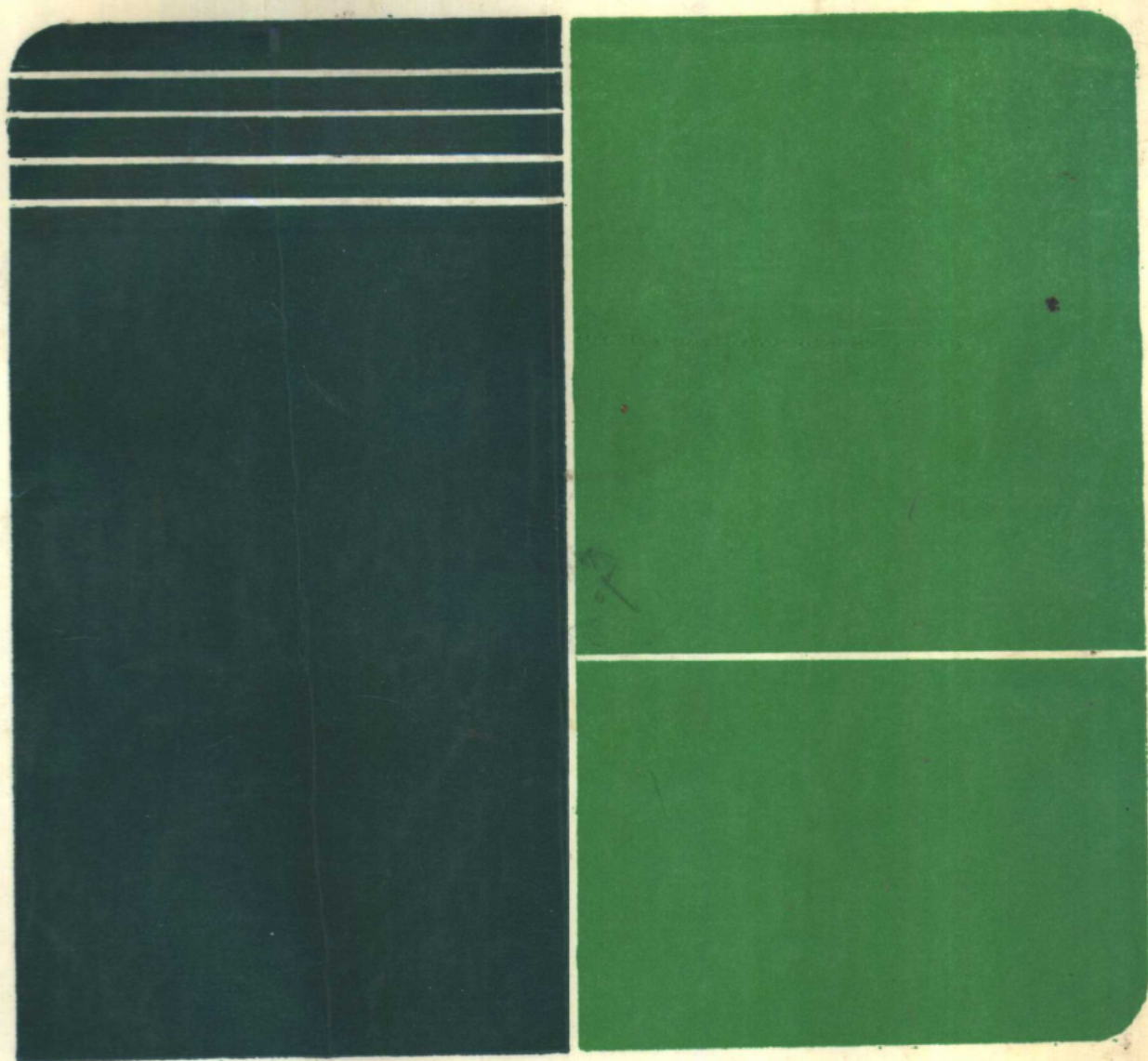


轻工业成人高等学校统编试用教材

自行车制造工艺学

《自行车制造工艺学》编写组 编



轻工业出版社

责任编辑：罗佳
封面设计：崔云

U184
661

统一书号：15042·2198

定 价： 5.85 元

轻工业成人高等学校统编试用教材

自行车制造工艺学

《自行车制造工艺学》编写组 编

轻工业出版社

内 容 简 介

本书对自行车制造的整个工艺流程,从材料的制备,到零件的切削、冲锻、成形、焊接及表面处理,进行了系统的论述,并介绍了有关设备及工艺装备。本书的编写注重从基本理论知识入手,并紧密结合自行车生产实际,有较强的实用性。部分内容还反映了当代世界自行车制造工艺的先进水平。

本书是自行车行业职工大学统编专业教材,亦可供从事自行车制造工作的科技人员和中专学校有关专业师生参考。

轻工业成人高等学校统编试用教材

自行车制造工艺学

《自行车制造工艺学》编写组 编

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

北京新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/16 印张: 31 字数: 700千字

1987年6月第一版第一次印刷

印数 1—2,000 定价: 5.85 元

统一书号: 15042·2193

前 言

《自行车制造工艺学》是自行车行业职工大学的一门专业课程，同时也可作为从事自行车制造工作的科技人员的参考书。

本书是根据一九八一年八月经工业部在哈尔滨召开的全国十大城市轻工系统第一届职工教育协作会议的决定，由上海自行车工业公司牵头，会同天津、哈尔滨、武汉、广州自行车工业公司组成编写组，组织有关人员编写的。

本书按照职工大学自行车制造工艺专业教学大纲的要求，针对自行车制造的特点，取主要加工工艺分篇编写，并注意从基本理论知识入手，比较深入系统地对自行车制造工艺进行了阐述。在编写过程中，除参考国内公开发表或出版的图书资料外，还较多地引用了国内各自行车厂在长期生产实践中积累的较成熟的经验总结及有关资料，力求密切结合自行车工业的生产实际。

本书由上海自行车工业公司郭方锐主编，上海交通大学蒋锡藩主审。参加编写的有：第一篇邬成钧，第二篇章锦云，第三篇杨云霞，第四篇韦兴初，第五篇王兆杰、吴志剑，第六篇沈德川，第七篇董子成，第八篇李昌裕、陆志扬，第九篇周和凯、袁才松、龚进、史进法、鱼佩佩。上海交通大学孙以安、卞铭甲以及曹佩德、陈祖祥、杨元豹、李才根、张庆裕、贾晋生、严泽民、杨昌金等同志也参加了审稿。

在编写过程中，得到轻工业部教育司领导的关心和支持，并得到上海、天津、广州、哈尔滨、武汉等地轻工业局和上海自行车研究所等单位的帮助，在此一并表示感谢。

职工大学的教材初次编写，且编写人员大都长期从事基层技术工作，由于技术水平有限，错误之处请读者批评指正。

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 自行车制造材料及其制备

第一章 自行车制造材料的选用	5
§ 1—1 自行车制造材料的选用原则	5
§ 1—2 材料工艺的制定	9
第二章 自行车常用制造材料及其特性	11
§ 2—1 自行车制造用普通碳素结构钢	11
§ 2—2 自行车制造用普通低合金结构钢	14
§ 2—3 自行车制造用优质碳素结构钢	17
第三章 自行车制造材料的准备	22
§ 3—1 自行车制造材料的验收	22
§ 3—2 自行车钢带的冷轧复制	25

第二篇 自行车零件的热处理

第四章 零件毛坯热处理	37
§ 4—1 保护气氛	37
§ 4—2 冷锻、冷挤零件坯料的预先热处理	40
第五章 自行车零件的最终热处理	46
§ 5—1 钢的渗碳	46
§ 5—2 钢的碳氮共渗	53
第六章 发黑处理	61
§ 6—1 氧化膜形成原理及发黑溶液中各介质的作用	61
§ 6—2 发黑处理的工艺及产生缺陷的原因	63

第三篇 自行车零件金属切削工艺

第七章 工艺规程的制定	67
§ 7—1 零件的毛坯	67
§ 7—2 加工余量	68
§ 7—3 工艺规程的制定	71

第八章 盘形零件的加工	80
§ 8—1 盘形零件的结构特点及技术条件分析	80
§ 8—2 盘形零件的车削	81
§ 8—3 滚道的加工方法	85
§ 8—4 自动定心弹簧夹具	87
§ 8—5 常用刀具材料的选择	90
第九章 小型零件的加工及钻孔	92
§ 9—1 小型零件在单轴棒料六角自动车床上的加工	92
§ 9—2 钻削加工	97
第十章 轴类零件的加工	102
§10—1 轴类零件的结构特点及毛坯	102
§10—2 轴类双头车床及夹具	103
§10—3 中轴棍的车削工序	106
§10—4 双头车削的误差及测量	108
第十一章 螺纹加工	110
§11—1 普通螺纹尺寸计算及自行车零件的螺纹要求	110
§11—2 螺纹的切削加工	112
§11—3 螺纹的挤压加工	117
§11—4 螺纹的测量及误差	121

第四篇 冲压工艺与模具

第十二章 冲裁工艺与冲裁模设计	126
§12—1 冲裁工艺分析	126
§12—2 冲裁模设计	132
§12—3 自行车零件冲裁模典型结构	146
第十三章 弯曲工艺与弯曲模设计	150
§13—1 弯曲工艺分析	150
§13—2 自行车零件弯曲模结构分析	154
§13—3 弯曲模设计	158
第十四章 拉延工艺与拉延模设计	161
§14—1 拉延工艺计算	161
§14—2 拉延模工作部分设计	173
§14—3 拉延件工艺计算	175
§14—4 拉延工作中的润滑、退火和酸洗	179
第十五章 成形工艺与模具	183
第十六章 挤压工艺与模具	190
§16—1 冷挤压的工艺计算	191
§16—2 冷挤压模具设计	192

§16—3 曲柄锻造与前叉腿电热锻	196
第十七章 冲压工艺方案的制定	200
§17—1 制定冲压工艺方案的内容	200
§17—2 制定工艺方案的原则	201
§17—3 冷冲压工艺的发展趋势	201

第五篇 自行车零件的冷弯成形

第十八章 冷弯成形工艺	203
§18—1 冷弯成形的基本概念	203
§18—2 设计冷弯成形工艺时应考虑的几个方面	213
§18—3 冷弯成形工艺设计基础	216
第十九章 冷弯成形展开长度计算及变形图设计	234
§19—1 冷弯成形展开长度计算	234
§19—2 冷弯成形变形图的设计	236
§19—3 泥板截形的展开长度计算及其变形图设计	239
第二十章 冷弯成形工具的设计与调整	244
§20—1 成形轧辊的型腔设计	244
§20—2 冷弯成形工具设计实例	246
§20—3 冷弯成形工具的调整与使用	252
§20—4 冷弯成形时的安全技术	255

第六篇 焊接工艺

第二十一章 电阻焊工艺	259
§21—1 电阻焊过程本质	259
§21—2 电阻焊工艺	263
§21—3 电阻焊电极材料	277
§21—4 电阻焊工艺发展趋向	277
第二十二章 高频焊接钢管	280
§22—1 我国自行车焊管生产的发展	280
§22—2 高频焊管原理	281
§22—3 感应器与导磁体	283
§22—4 焊接装置功率和焊接频率的选择	285
§22—5 影响焊接质量的因素	287
第二十三章 钎焊	292
§23—1 钎焊概述	292
§23—2 钎料对固体金属表面的润湿	293
§23—3 自行车钎焊用钎料和熔剂	295
§23—4 自行车钎焊工艺	299

第二十四章 熔化焊	310
§24—1 CO ₂ 气体保护焊	310
§24—2 氧乙炔熔化焊	316
§24—3 电子束焊与氩弧焊	320

第七篇 电镀工艺

第二十五章 电镀原理	326
§25—1 金属的腐蚀及其防护	326
§25—2 影响镀层组织的因素	327
§25—3 镀层在零件表面的分布	329
§25—4 合金电镀	333
第二十六章 自行车零件的镀前处理	339
§26—1 机械性镀前处理	339
§26—2 化学性镀前处理	341
§26—3 零件粗糙度与镀层的防护性能	342
§26—4 镀前处理与镀层的结合力	342
第二十七章 镀铜	344
§27—1 硫酸盐镀铜	344
§27—2 氰化镀铜	345
§27—3 三乙醇胺低氰镀铜	346
§27—4 焦磷酸盐无氰电镀	347
第二十八章 镀铜锡合金	349
§28—1 氰化物电镀铜锡合金	349
§28—2 三乙醇胺低氰电镀铜锡合金	351
§28—3 焦磷酸盐无氰电镀铜锡合金	352
§28—4 焦磷酸盐低氰电镀铜锡合金	352
第二十九章 镀镍及镍铁合金	354
§29—1 普通镀镍及镀镍的电极反应	354
§29—2 光亮镀镍	356
§29—3 多层镀镍	357
§29—4 镍封闭与高应力镍	358
§29—5 镀单层镍铁合金	359
§29—6 镀双层镍铁合金	360
第三十章 镀铬	362
§30—1 装饰性镀铬	362
§30—2 微孔镀铬、微裂镀铬、松孔镀铬	365
§30—3 小零件与辐条的滚镀铬及车圈的低铬酸镀铬	366
§30—4 关于铬层的耐磨性与裂纹	367

第三十一章 镀锌	369
§31—1 氰化镀锌	369
§31—2 三乙醇胺低氰镀锌	370
§31—3 碱性及其他无氰镀锌	370
§31—4 锌层的钝化处理及消色	372
第三十二章 自行车零件的镀后处理	374
第三十三章 电镀质量及测试	375
§33—1 镀层常规质量的测定	375
§33—2 镀层内在质量的测定	376
§33—3 自行车零件电镀质量的部颁标准	377
§33—4 电解液性能的测定	379
§33—5 电镀过程中常见质量问题	381
第三十四章 电镀设备	384
§34—1 自行车零件磨、抛、滚、擦设备	384
§34—2 镀槽及自动电镀机	387
§34—3 直流电源与电气控制	393
§34—4 辅助设备	399
附录	402
I. 电镀车间的设计要求	402
II. 电镀车间的三废治理	405
III. 电镀车间的劳动保护与职业病	409

第八篇 涂装工艺

第三十五章 涂装要求及涂料选用	412
§35—1 涂料概述	412
§35—2 自行车涂装件分类及其涂装要求	420
§35—3 涂层设计及涂料选择	420
第三十六章 涂装工艺	424
§36—1 涂装前处理	424
§36—2 电泳涂装	432
§36—3 静电喷涂	436
§36—4 圆盘式静电喷涂	440
§36—5 罩光工艺	444
§36—6 浸漆与淋漆	446
§36—7 涂装质量的常见问题及处理方法	448
第三十七章 装饰美化处理及涂层固化	454
§37—1 自行车美化工艺	454
§37—2 涂层干燥	455

第九篇 自行车典型零件的制造工艺

第三十八章 链条制造工艺	458
§38—1 链条制造工艺	458
§38—2 链条的装配	460
第三十九章 飞轮部件制造工艺	463
§39—1 飞轮的结构和性能	463
§39—2 飞轮的冲压工艺	464
§39—3 飞轮部件的精度和技术要求	469
第四十章 辐条制造工艺	471
§40—1 条母制造工艺	472
§40—2 辐条制造工艺	478
§40—3 辐条生产专用机床和装备	480

绪 论

自行车是一种日用机械产品，供人们交通代步、体育锻炼、旅游和短途运输之用。自行车制造是一门多工艺的综合性技术，主要包括冷轧、制管、冲压、滚轧、金属切削、焊接、热处理、油漆、电镀、包装等工艺。它的特点是加工工艺复杂，产量高，成本低，并且要求产品美观、坚固耐用。本书较系统地介绍自行车制造工艺的特点。

一、自行车工艺设计要求

自行车制造业是大量生产的一种机械加工工业，它的制造工艺必须达到以下要求。

1. 全部零件要按国标和部标进行生产，要做到能通用互换。
2. 要做到外形、表面美观，骑行轻快，强度高，保证骑行安全可靠。
3. 任何新工艺、新材料的应用，都要考虑价格不能过高，要适合民用消费品的特点。
4. 要保证传动零部件装配后转动灵活，各传动件要经久耐用。
5. 要做到装拆、维修方便。

二、自行车种类划分

随着生产的不断发展，自行车已逐步地适应各种不同的使用对象。可分为普通型、载重型、轻便型、赛车型、小轮型、特种型等类型和品种。

自行车型号由两个汉语拼音字母和2~3个阿拉伯数字组成。第一个汉语拼音字母代表自行车的用途：P表示普通车；Q表示轻便车；Z表示载重车；S表示赛车；X表示小轮车。第二个汉语拼音字母代表自行车的式样及车轮直径，例如A表示车轮直径为710mm的男式车；F表示车轮直径为660mm的女式车等等。阿拉伯数字表示工厂序号。

三、我国自行车工业发展简况

自行车是从十七世纪末期木制自行车开始发展起来的，经过多次结构的改进，到十八世纪中期才完成了现代自行车的雏型，前后不到二百年的发展史。

我国自行车工业与先进国家相比发展较慢。天津在1915年，上海在1926年才开始有小厂仿制自行车零部件，这是我国自行车工业的萌芽期。我国自行车整车的生产是1937年以后开始的，当时日本资本家先后在沈阳、天津、上海等地兴办自行车厂，但厂房及设备都很简陋。解放初全国只有三个整车厂，年产自行车15000辆。

建国三十多年来，我国自行车工业在党的正确领导下，得到蓬勃发展，目前全国已有自行车零件厂300多家，整车厂140多家，1983年产量已超过2500万辆，跃居世界首位。自行车品种发展也很快，目前已有多种型号、100多个品种。在自行车加工工艺方面，三十年来变化也很大，如车架、车把等管材。从半机械卷拔管加工开始，已发展到今天的自动成型、高频焊接、定长切割等世界先进的制管加工技术，油漆采用静电喷

涂，红外线烘干。电镀工序采用了大型电镀自动槽等生产自动流水线等。

为满足广大人民的需要，扩大对外贸易，自行车行业的广大同志必须努力提高质量，扩大品种，发展生产。与此同时，还必须培养和造就新一代的能掌握自行车加工各种技术的生产工人和科学技术人材，为实现四个现代化作出贡献。

第一篇 自行车制造材料及其制备

自行车制造材料的选用及其制备是自行车生产中重要的环节，直接影响到制造工艺的实施和产品质量的优劣，长期以来，受到人们的普遍重视。

十八世纪末叶问世的原始自行车是用木头做的，人称“木马轮”。到十九世纪中期，人们将木制结构的自行车改为钢铁结构，这是自行车制造史上的一次重大革命，从此，自行车由玩具转变为交通和运输工具。钢铁工业、机械工业的发展，大大地促进了自行车生产的发展。到本世纪初，自行车的各种零部件——除了轮胎、鞍座等外——所使用的材料基本上都是金属，其中以钢铁为主，特别是普通碳素钢。随着生产、生活水平的不断提高，人们对自行车的要求也越来越高，自行车的用途日趋多样化，除了用于代步，还用于短途运输、运动竞赛、健身锻炼、越野旅游、儿童游艺等等，这不仅要求自行车的款式新颖，造型美观，而且还要求重量轻、骑行轻快、价格适当，从而对自行车制造材料提出了更高的要求。

要减轻自行车的重量，除了改进结构设计之外，主要途径就是要选用强度高、相对密度小的材料。目前，除了钢铁材料之外，人们选用的自行车制造材料主要有以下几种：

1. 铝合金。铝合金材料的强度虽然低于钢铁材料，但是它的比重轻、抗腐蚀性能好，而且制成零件后表面不需要涂层装饰，因此是较早地应用于自行车零件制造中的合金材料。自行车制造用铝合金材料的抗拉强度可达 $420\sim 500\text{ MPa}$ ，大致相当于普碳3号钢，而其相对密度还不到3，制成的自行车零件重量可大大轻于钢制零件。鉴于铝合金的上述特性，其在中、高档自行车，特别是赛车上得到了广泛的应用。用铝合金制造的零件主要有：车把、车圈、曲柄、泥板、链轮等。国外有些厂家用铝合金制造车架，其重量大大轻于钢制车架。

2. 钛合金。钛合金材料制造的自行车问世于本世纪七十年代，受到了自行车行业的高度重视。欧美及日本等国对用钛合金材料制造的车架进行了振动、疲劳、冲击等项试验，给予了肯定的评价。国外某公司试制成的钛合金车架，与普通钢制车架相比，其重量减少40%，而强度却提高了15%。然而，钛合金的价格昂贵，在制造技术和车架的强度、刚度上也还存在一些问题，这就给钛合金在自行车上的应用和推广造成了困难。

3. 碳纤增强塑料。随着塑料工业的发展，塑料的重量轻、抗腐蚀、成形性好、美观大方等特性，引起了自行车行业的极大兴趣。现在，塑料不但已广泛用于尾灯、回光器等装饰零件，而且还用碳纤增强塑料制成了车架、车把、车轮等结构部件。用塑料制成的车轮，其车圈和辐条合为一体，抗畸变强度与吸振能力均优于钢丝辐条车轮，从而使骑行轻快舒适。目前国外已试制成了全塑自行车。但是，由于用塑料制造的自行车车架强度尚不够可靠，塑料制成的零件易产生静电，易褪色、老化，某些加工工艺还存在一些问题，因而至今尚停留在试验阶段，未能大量应用于自行车生产。

一个多世纪以来，钢铁材料在自行车制造材料中一直占据着统治地位。尽管在赛车、运动车和其他中、高档车的制造中这种地位受到了铝合金、钛合金和碳纤塑料的挑战，但是至今为止，在大多数自行车的用材上，钢铁材料依然具有明显的优势。为了减轻车重，采用了合金化、制成不等壁管等方法来增加材料强度和减薄管子壁厚。目前广泛应用的合金钢主要有铬钼、铬锰合金钢以及各种高强度低合金钢。用合金钢管制成的车架，其强度、性能和自重完全可以与高级合金材料媲美，就是赛车车架现在所使用的材料，主要也还是合金钢。

应该看到，尽管各种高级材料已广泛应用于自行车生产，但是，当前各国自行车工业使用得最多最广泛的材料依然是普通碳素钢。普通碳素钢用作自行车制造材料，其优点是强度较高，成本低廉，工艺技术成熟；其缺点是相对密度大，工艺复杂，需要表面涂饰(电镀、油漆)。在今后相当长的一段时期内，自行车制造材料仍然是以钢材为主。

总的说来，为了适应消费市场对自行车提出的式样新、重量轻、价格低的要求，当前对自行车制造材料的选用主要有两种倾向：一是向高、精、尖方向发展，研究各种高级轻合金、碳纤塑料和铬钼、铬锰合金钢等，用于中、高档自行车，谋求以新颖、别致、轻巧、美观而取悦于消费者；二是大量采用价格低廉的普通碳素钢，通过不断地改进车型和款式，变化表面涂饰，以坚固耐用、美观大方、价格低廉赢得顾客的喜爱而占领市场。

我国的自行车产量居世界首位，每年耗用的材料达数十万吨之多，合理地选好、备好、用好自行车制造材料具有相当可观的经济意义。作为从事自行车生产的工艺与设计人员，必须从实际情况出发，慎重对待，切实做好这一工作。

第一章 自行车制造材料的选用

§ 1—1 自行车制造材料的选用原则

一辆普通的自行车，其各种零件不仅形状与大小不一、所起的作用不同，而且加工工艺也各不相同。为了保证产品质量，使各零部件经久耐用，使自行车骑行安全可靠，轻工业部颁发了自行车标准，对自行车各个零部件的强度、疲劳极限、耐磨和应变量等性能都有一定的考核要求。自行车零件是大批量、连续性生产，辊压、冲压、模压成形件占相当的比重，而且表面又必须涂饰(电镀或油漆)，这些都对自行车零件制造材料的各种性能、表面质量、公差精度等提出了严格的要求。同时，考虑到自行车属于民用产品，根据我国的国情，所用材料的价格不能过高。总之，自行车制造材料选用的基本出发点是：

- (1) 材料的使用性能；
- (2) 材料的工艺性能；
- (3) 材料的经济性。

下面，就自行车整车及某些主要零部件的选材要求，作一简略介绍。

一、 整车对材料的要求

一辆自行车，由一千多个零件组成，在设计并进行选材时，应考虑以下两个方面：

(一) 不同用途的车型对材料的要求

自行车按不同的用途分为普通型、轻便型、载重型、运动型、赛车型、小轮型等几种车型。各种不同的车型，即使是同一种零件，所选用的材料也可能有所不同。如载重车，就要考虑到在不同路面条件下载重骑行的特点，选用强度与冲击韧性都较好的材料，通常还要适当增加零件材料的截面积，以达到经久耐用的目的。

又如公路赛车和跑道赛车，为了适应体育比赛的需要，其主要零部件大都采用高强度合金钢和轻合金，并尽可能地减小零件材料的截面积，以减轻赛车的自重，使之在比赛时尽可能轻捷。

通常，赛车的链轮、曲柄、把横管、车圈等零件都采用铝合金，而对于普通自行车来说，这些零件几乎都是钢制的。

(二) 整车中各主要零部件使用寿命匹配对零件材料的要求

自行车是一个整体产品，我们在进行选材时，还必须考虑整车强度的统一性，使所制造的主要零部件的使用寿命尽量匹配，以保证一辆自行车在正常骑行情况下，其主要零部件的损坏程度和失效期限大致相当。否则，若某一零部件已经损坏需要更换，而其他零部件仍基本完好，就会有损于整车的完整性和使用寿命。

(三) 整车材料的协调性

在进行自行车制造材料的选材时,还必须考虑整车用材的协调性。例如高级轻便车、运动车等,一般选择铝合金或不锈钢来制造挡泥板,使整车在外观和色彩上显得和谐、美观。而对于载重车或普通车,则选用普通碳素钢。

一般说来,中、低档自行车(包括载重车)的制造材料以普通钢材为主,对某一零件的制造材料选得过好是没有多大意义的。而在高档自行车的用材上,在成本和设计允许的情况下,对于某些零部件(特别是外观性零部件),可多使用一些铝合金、不锈钢、合金钢等合金材料,使整车在外观、质量和使用性能上更趋于协调。

二、自行车主要结构部件对材料的要求

自行车的车架、车圈、车把、前叉等部件,承受着车辆自身、骑行者、负载物的全部重量和运动中的冲击力,是自行车的主要强度结构部件。这些部件的强度直接关系到骑行的安全和车辆的耐用程度,是自行车质量考核的重要指标之一。这些零部件要求材料有高的强度、好的刚度和一定的冲击韧性。以车圈为例简介如下:

按设计和使用要求,车圈应具有较高的径、轴向强度和长期使用不明显变形的性能,即良好的抗变形能力和变形后恢复原形的特性。国家标准要求对车圈进行径、轴向静负荷强度的考核(详见 GB 3565—83)。一般说来,剔除断面形状和制造上的因素,影响车圈径、轴向强度的主要因素是材料的刚度和弹性。

刚度是材料对于弹性变形抗力大小的表征,在构件的外形和尺寸确定之后,主要取决于材料的弹性模量 E 。弹性模量愈大,材料的刚度愈大,在一定应力下产生的弹性变形就愈小。弹性模量主要取决于金属原子本性和晶格类型,与原子间距有密切关系,具有对成分和组织不敏感的性能。材料的合金化一般对晶格常数改变不大,因而对弹性模量影响很小,自行车常用的各种碳钢、低合金钢的弹性模量都较接近。热处理对弹性模量一般改变不大,但是钢淬火后要降低 10% 左右,这是因为淬火后组织转变为马氏体,晶格常数发生了变化。形变强化使金属的弹性模量稍有降低。

弹性表征着材料弹性变形能力的大小,以开始塑性变形时最大的弹性变形来表示。在拉伸时,弹性是以达到弹性极限时材料的相对伸长 ϵ_s 来表示,其公式为:

$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E} \quad (1-1)$$

式中 σ_s ——弹性极限

金属吸收弹性变形功的能力称为弹性比功 a_s ,以开始塑性变形前单位体积所吸收的最大弹性变形功表示,相当于应力——应变曲线上弹性直线段下所包围的面积,其大小为

$$a_s = \frac{1}{2} \sigma_s \cdot \epsilon_s = \frac{\sigma_s^2}{2E} \quad (1-2)$$

弹性比功 a_s 表征金属材料吸收弹性变形功的能力。弹性比功越大,材料在塑性变形前单位体积吸收的变形功越大,也就是变形后恢复原状的能力越大。这个性能,对车圈来说是极为重要的。从公式(1-1)和(1-2)可以看出,提高弹性 ϵ_s 和弹性比功 a_s , 可以从两方面着手,即提高材料的弹性极限 σ_s 和降低材料的弹性模量 E 。由于弹性模