

《设计初步》丛书

工业设计

——材料与加工手册

[美] 吉姆·莱斯科 编著
北京城市节奏科技发展有限公司 中文版策划
李乐山 译

INDUSTRIAL DESIGN
Materials and Manufacturing Guide



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

知识产权出版社
www.cnipr.com



《设计初步》丛书

TB47
45

INDUSTRIAL DESIGN

工业设计

——材料与加工手册

[美] 吉姆·莱斯科 编著

北京城市节奏科技发展有限公司 中文版策划

李乐山 译

RBPT2/07

北方工业大学图书馆



00590575

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



内容提要

对工业设计者来说,本书是一本难得的书。作者从1975年开始着手准备,积累了15年教学经验后完成。他将自己的整体构思与材料及工业设计专业教授进行交流,获得了认可和建议。他还与若干著名企业结合,获取了大量真实有用的最新资料和案例,按照工业设计专业的思维方式写成此书。您可以从中找到从最基本的术语到有关在特定用途下如何对产品的形状进行最优化设计的任何信息,以及如何最有效地利用最常用的方法和材料。

本书可供工业设计专业的学生及职业设计师参考。

选题策划: 阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z_baolin@263.net

责任编辑: 阳 淼 张宝林

编辑加工: 丁 丁

版权登记号: 01-2003-7601

图书在版编目(CIP)数据

工业设计: 材料与加工手册 / (美) 莱斯科 (Lesko, J.) 编著; 李乐山译. — 北京: 中国水利水电出版社; 知识产权出版社, 2004

(设计初步丛书)

书名原文: Industrial Design, Materials and Manufacturing Guide

ISBN 7-5084-2382-8

I. 工... II. ①莱... ②李... III. 工业设计

IV. TB47

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第097731号

Rights Reserved. Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Inc. 本书由John Wiley & Sons, Inc. 正式授权中国水利水电出版社和知识产权出版社在中国以简体中文翻译、出版、发行。未经出版者书面许可, 不得以任何方式和方法复制、抄袭本书的任何部分, 违者皆须承担全部民事责任及刑事责任。本书封面贴有防伪标志, 无此标志, 不得以任何方式进行销售或从事与之相关的任何活动。

《设计初步》丛书

工业设计——材料与加工手册

[美] 吉姆·莱斯科 编著

北京城市节奏科技发展有限公司 中文版策划

李乐山 译

中国水利水电出版社

出版、发行 (北京市西城区三里河路6号; 电话: 010-68331835 68357319)

知识产权出版社 北京市海淀区马甸南村1号院; 电话、传真: 010-82000893

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京鑫丰华彩印有限公司印刷

787mm × 1092mm 16开 14.75印张 367千字

2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷

定价: 56.00元

ISBN 7-5084-2382-8

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社营销中心调换
(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

致 谢

编写《工业设计——材料与加工手册》一书的想法大概始于1975年，当时博恩(Born)教授邀请我在辛辛那提大学(University of Cincinnati)讲授这门课。很幸运，我拥有一群优秀的学生，包括约翰·布霍尔茨(John Bucholtz)、迈克·加勒热(Mike Gallego)以及萨姆·卢琴特(Sam Lucente)，他们对我这门课的组织结构的热烈反响使我确信，对于接受艺术训练的学生，用一本简单生动的课本引起他们的兴趣是必要的。现有的许多这方面的课本和杂志为这些学生的学习提供了很大的帮助，学生们的兴趣在于这些课本和杂志中所提供的大量细节，包括强调可量化的论据和解说。这些课本和杂志保留了设计专业学生学习所必须的部分，使我获益匪浅。但急躁的工业设计学生想要理解概念，则需要一个纵览——读摘要、看例子，以某种逻辑方式继续下一个主题。设计专业的学生似乎认为，在产品设计中的选择材料、指定制造工艺方面他们不负主要责任。但从直觉上，他们明白必须熟悉这个领域以及材料和加工方法，这将是设计中起决定性作用的一部分。

当今，设计界对材料和加工技术的兴趣及探索与日俱增，这是由于技术的发展导致思想爆炸的结果。最近，由现代艺术博物馆的副馆长保拉·

安东内利(Paola Antonelli)组织的展览“当代设计中的变异材料”(Mutant Materials in Contemporary Design)，以及由乔治·贝莱里安(George Beylerian)构思的“材料连接”(Material Connection)就是这方面的显著例证，显示了这股复兴力量集中在材料和加工技术这个设计的基本要素上。在美国工业设计学会(IDSA)内部，戴维·库苏马(Dave Kusuma)帮助组建“材料和工艺小组”(Materials and Processes Group)并协助将塑料工程师联合会与IDSA联合起来进行研讨。为了支持材料方面的教育，这两个团体联合为学生提供了一套有各种零件样品的设计者工具箱，以便其学习。

多年来，我一直希望有人能够编写出这样的课本。在教授这门课15年或更长的时间之后，我才意识到没有设计师能够冒昧地去编写一本供工业设计学生使用的课本，所以我开始整理我的笔记。在普拉蒂学院(Pratt Institute)时，我得到梅隆基金的资助，为本书应包含的内容进行了框架构建。在第一阶段有几个学生协助了我，包括德博拉·茨魏克(Deborah Zweiker)和艾琳·李(Eileen Lee)。利用计算机，我们在那个夏季花了大部分时间编制了图表，制作了许多信息目录。当我在卡内基·梅隆大学(Carnegie Mellon

University)时,工业设计专业的负责人亚历克斯·巴利 (Alex Bally) 教授,以及材料科学专业的格林伯格 (Greenberg) 教授、帕克斯顿 (Paxton) 教授审查了我初步的构思,提供了许多建议并给予我极大的鼓励。

尽管我负责使用所整理出来的信息,但我知道仅凭我个人来完成这项任务是不可能的。实际上,这本书是许多人的劳动结晶:许多学生细心地看完讲稿并提供了反馈意见,制造商和供应厂商慷慨地为我花费了许多时间和耐心,设法确保我接收到必要的信息。许多人提供了帮助,他们所付出的超越了他们的责任。

如果没有埃德·伊斯拉米 (Ed Eslami),这本书将难以完成,他经常在许多场合及时地将我从束手无策中挽救出来。我非常感谢他的帮助和他卓越的才能。许多学生协助我调查和制图,他们是基安·豪布·康 (Kyang Haub Kang)、东·吉恩·金 (Tong Jin Kim) 以及明戈休·扬 (Minghsiu Yang)。

塔尔博特联合公司 (Talbot Associates) 的唐·布莱尔 (Don Blair) 先生几乎从一开始就给我以支持,后来杰夫·塔尔博特 (Jeff Talbot) 先生也加入进来,他长时间地参与讨论,提供了大量的资料,并提供了许多关于铸造的信息来源。通快公司 (Trumpf) 的克里斯蒂·拉戈斯 (Christine Lagosz) 女士和她的同事,天田美国有限公司 (US Amada Ltd.) 的比尔·格夫勒 (Bill Guftner) 先生、Peterson 的史蒂文·弗雷德曼 (Steven Friedman) 先生、Risdon 的沃尔特·阿克曼 (Walter Ackerman) 先生、ESAB Welding & Cutting Products 的约翰·马修斯 (John Matthews) 先生,以及布里奇波特机械有限公司 (Bridgeport Machines) 的鲍伯·库克 (Bob Cook) 先生都是

那些杰出人士中的一员,他们提供了所有我想要的关于金属成形和切削的资料。道蒂 (Douty) 先生审读了金属一章的部分内容,提供了极有价值的信息并给予我莫大的鼓励。

拜尔公司 (Bayer Corporation) 的戴维·库苏马先生和小迈克尔·A·D·奥诺弗里奥 (Michael A.D' Onofrio, Jr) 以及他们的同事,通用电气塑料公司 (GE plastics) 的杰克·埃弗里 (Jack Avery) 先生、乔治·惠特尼 (George Whitney) 先生和他们的同事, Pappago 的史蒂夫·哈姆 (Steve Ham) 先生、戴维·贝克 (Dave Beck) 先生,史蒂文斯研究所 (Stevens Institute) 的维克多·格迪斯 (Victor Gerdes) 先生和他的同事,以及 Sikorsky 的比尔·法伦 (Bill Fallon) 先生在编写塑料这一章时提供了许多重要的材料。我非常感激由 Rosato & Rosato 编写的《注塑模具手册》(Injecting Molding Handbook) 的出版商,以及塑料工业学会编写的《塑料工程手册》(Plastic Engineering Handbook) 的出版商,能够允许我复制许多图片。

感谢我的同事席勒 (Schile) 教授和克雷布斯 (Krebs) 教授的修正和建议。当然,还有其他人孜孜不倦地审阅我的草稿,并耐心地指正我的错误。在这本书里还可见到许多人贡献出的技术和想法。几乎我所接触的每个人都热情地、自发地给予了我帮助。所有人都参与了工作。我感谢他们。

还要感谢我的妻子,当我在一遍又一遍的修改,无终止的信件、传真以及电话中忙碌时,她独守空房。感谢我的出版商,当出现新的任务和大量延期造成的混乱时依然支持我。最后我要感谢的是基蒂 (Kitty) 小姐的支持,她检查了我打的每一个字。她的友情和忠于职守使得我头脑清晰。没有她的帮助本书将难以出版。

目 录

致 谢

1 绪论	1	5.4 火焰/热切削	74
2 加工工艺	3	6 金属连接	76
3 金属	6	6.1 软钎焊和硬钎焊	78
3.1 金属性能	6	6.1.1 软钎焊	78
3.2 黑色金属	9	6.1.2 硬钎焊	78
3.3 粉末冶金	14	6.2 焊接	80
3.4 有色金属	15	6.2.1 气焊	80
4 金属成形	22	6.2.2 电弧焊	82
4.1 液态成形(金属)	22	6.2.2.1 电弧焊: 损耗型	82
4.1.1 一次铸型(损耗型铸模)	25	6.2.2.2 电弧焊: 非损耗型	85
4.1.2 永久铸型	31	6.2.3 电阻焊	87
4.2 塑性成形	40	6.2.4 固态焊接	88
4.2.1 轧制	42	6.2.5 高技术焊接	90
4.2.2 锤锻和模锻	43	6.3 黏合	91
4.2.3 挤压	44	6.4 机械紧固件	94
4.2.4 钢丝拉拔	47	7 外观精加工和涂敷	100
4.3 固态成形	47	7.1 纹理成型/内模	101
4.3.1 纯弯曲	48	7.1.1 纹理成型	103
4.3.2 复合弯曲	52	7.1.2 成型板材金属图案	104
4.3.3 成型和冲裁	53	7.2 机械方式/化学方式	106
5 金属切削	58	7.3 涂敷	111
5.1 板材冲压和剪切	58	7.3.1 油漆/涂敷	111
5.2 有屑切削	62	8 塑料	116
5.3 无屑成型切削	70	8.1 模制树脂的特性	120

8.2 热固性塑料	130	13.2 合成橡胶	207
8.3 热塑性塑料	135	14 天然工程材料	210
9 树脂成型工艺	154	14.1 工程陶瓷材料	211
9.1 树脂	154	14.2 玻璃	215
9.1.1 热固性树脂	156	14.3 碳材料	220
9.1.2 热塑性树脂	165	14.4 高熔点高硬度金属材料	220
9.2 塑态成形	175	15 复合材料	222
9.3 固态成形	180	15.1 金属复合材料	223
10 零件的机械加工	182	15.2 非金属复合材料	224
11 塑料件连接	184	15.2.1 高级的复合材料	225
12 塑料件的表面整饰	194	16 快速成型技术	226
13 橡胶与合成橡胶	200	译后记	228
13.1 橡胶材料	201		

1

绪论

需要一本材料和加工入门书

工业设计师,无论是在一个设计团队里,还是独自作为一个设计咨询者,对产品的外观和外形是负有责任的。如果说产品外形在某种程度上是加工制造的结果,那么设计师必须对所有所应用的加工工艺有良好的了解,从而确信所采用的加工工艺是最经济和最恰当的。如果设计师对某些现有的工艺不了解,那么他们的创造潜力将会受到限制,正如一位作曲家想要完整地谱写一首交响乐,却没能把握住两三种乐器的音色、音域和音品一样。

设计教育

工业设计专业的学生在该专业课程的前期阶段就应该对材料和加工方法有所了解——比较理想的阶段是大学二年级。这一点非常重要,因为分配了设计项目后,学生需要想象和逐步形成最终将被加工产品的外形(即使是理论上的)。如果没有一个完整的材料和加工可能性的知识基础,学生会受制于对该学科的无知和忽略多种可能的应用,只会进行幻想和束手无策。有一个良好的知识基础后,学生既可提出一系列可能的设计解决方案,又能在一定程度上确信它们是可被加工的。当前有大量的优秀工程课本,但是这些课本对于一般学生来说太过详细和复杂。无论如何这本入门书不是也不想成为一本标准的专业工程课本。从某些方面来说,选择这样的课本对学生来说是明智的。这本入门书将会

给出简单的总览和形象化的术语,而不是提供所有所需的信息。同时,也可将其作为这个复杂领域的引导和入门(表1-1)。

由于此书必须从最基础开始,因此设计和工程的相互协作就成为一种实际操作。现在,工业设计专业的学生需要比从前更了解工业标准以及材料和加工。在一个产品设计的评审中,出于对可制造性(DFM)的考虑而常常对设计提出修改,而且一般要很快得到审核批准。如果设计师没有精神准备去维护设计方案的合理性,他或她也许将失去对重要设计特征的控制,在修改设计的争论和审核中就会退缩成旁观者。实际上,设计师应当作好准备去向别人展示设计,维护那些不仅改善了产品的外观和性能,而且加工上比原有的方案更经济更优美的方案。令人遗憾的是,目前的设计和工程教育缺少许多设计和工程课程。因此,工业设计专业的学生必须学习一些制造加工工程的语言和相关内容(图1-1)。



图1-1
小设计师

表 1-1 加工方法总览表

加工方法		金属		塑料		橡胶及 合成橡胶		工程		材料		自然材料	
		黑色 金属	有色 金属	热固 性塑料	热塑 性塑料	热固 性橡胶	热塑 性橡胶	人造 碳材料	玻璃	工程 陶瓷	高熔点 硬质合 金	纤维	木头 产品
成 形	液态	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	塑态	●	●	○	●	○	●	○	●	●	●	●	●
	固态	●	●	○	●	○	●	○	○	○	○	●	○
切 削	板材切削	●	●	●	●	●	●	○	●	○	○	●	●
	有屑切削	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	无屑切削	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	●
	火焰 / 激 光切割	●	●	●	●	●	●	○	○	○	●	●	●
连 接	锡焊 / 铜焊	●	●	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○
	热连接	●	●	○	●	○	●	○	●	○	○	○	○
	胶结	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	机械连接	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
精 加 工	成型加工	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	研磨 / 切削	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	涂敷	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● 适用于所有工艺

● 适用于大部分工艺

● 适用于某些工艺

○ 不适用任何工艺

2

加工工艺

形式是对功能的解答

本质上说,设计是在寻找形式。“形式追随功能”(Form follows function)从包豪斯时代起就成为设计师的一面旗帜。然而这个著名的陈述暗含了功能主导、形式跟随的含义,将形式归于一个次要的位置。对这个论述重新进行表述,也可以理解为“形式是对功能的解答”。此处的功能含两个主要的方面:①对操作说明的要求,包括对用户友好的各个方面;②成本和可制造性。前者涉及人为因素——这与产品用户的能力和限度有关。后者涉及产品各种实际因素,包括材料的选择和可制造性。“形式是对功能的解答”(Form is the resolution of function)表明形式是变化的,相互影响的。“形式追随功能”则暗示形式是被动的,跟在功能后面,而功能在设计中作为首要的决定因素。根据修改过的“形式是对功能的解答”,可制造性被理解为设计过程中一个同等重要的决定因素,这才是它的正确地位。

通过使用工具对材料或合成材料加工成形,使形式得以实现。创造一个外形的过程,隐含着设计师也同时选择了加工工艺。通常,设计师用

一些替代材料(非实际材料)制作模型表现设计概念。这种做法会忽略了对实际加工工艺方法的考虑,这对该产品使用的材料和外形是有负面影响的。如果设计师在纸上使用铅笔或马克笔来塑造外形,那么设计师不仅会有不理解实际加工结果的危险,而且会有不理解现实空间和实际材料性能的危险。制造成功的产品需要使用实际的材料和加工方法。这不可能仅在工作室里完成,而需要材料和制造加工工程的发展支持和协力合作。由唐纳德·查德威克(Donald Chadwick)和威廉·斯顿夫(William Stumpf)设计的艾隆铁铝合金椅(the Aeron chair,图2-1),就是一个极好的成功产品的例子。它的外形不仅是材料和加工的典范,而且也反映了人的需求的功能的本质。这个设计中的方方面面几乎满足了所有因素。外形是经过多年的尝试发展而来,然后才有一系列的重大成就,例如Ergon(艾隆椅的前身)。材料的选择和材料的发明(因为现实中没有符合需要的材料)、生产工艺的选择以及形式三者之间相互依赖而发展,这是一个不断优化的过程。在这个过程中最可行的解决方法是通过深思熟虑、详尽



图 2-1 艾隆铁铝合金椅 (Herman Miller 有限公司提供)

的研究和实验获得的。

小提琴可能在材料和制造方面完全体现了一个产品的本质和缩影。人类的其他发明中,没有一样在设计上能与之媲美。斯特拉迪瓦里(Stradivarius)制作的提琴,达到了其他人都没有能力达到的卓越。当然,还需要由一位大师来恰当的演奏:唯有巴赫或者贝多芬这样的大师谱写的曲子,才能展现斯特拉迪瓦里小提琴的绝妙。

材料和制造

《工业设计——材料与加工手册》是一本供工业设计师及学生使用的书,它概述了许多关键工艺和重要相关信息。本书主要基于工程材料(天然材料如木头^①、石头等不包含在内),目的是提取与此主题有关的关键信息,进行组织,然后尽可能简单地表达出来(图 2-2、2-3)。

以往的课本总想把工程方面的知识包罗万象。而这本入门书则概述了一些对工业设计较重要的工艺,并尽量简单地以图文方式表现出来。它是一本概观综述的书,不想详尽论述各种制造工艺,而只限于关键工艺和重要的相关信息。本书目的是给工业设计师提供关于制造方面的指南,同时提供一个组织这方面信息的方法。

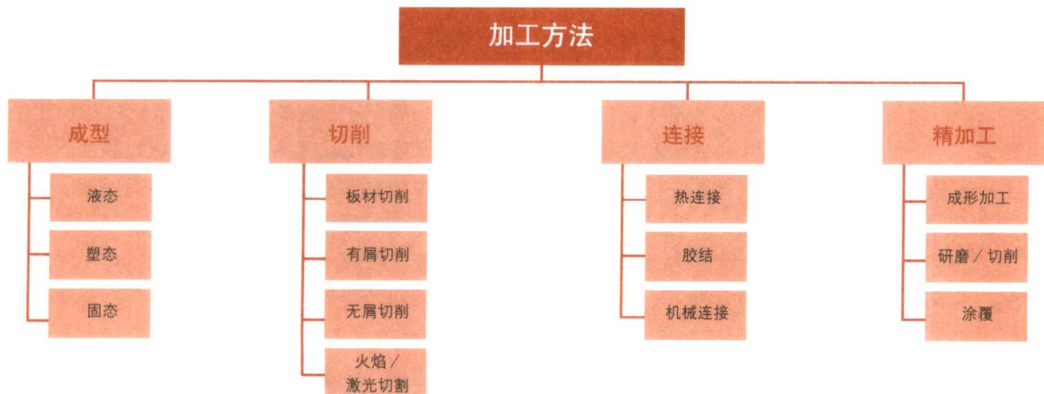


图 2-2 加工方法

① 包括一些木制产品。

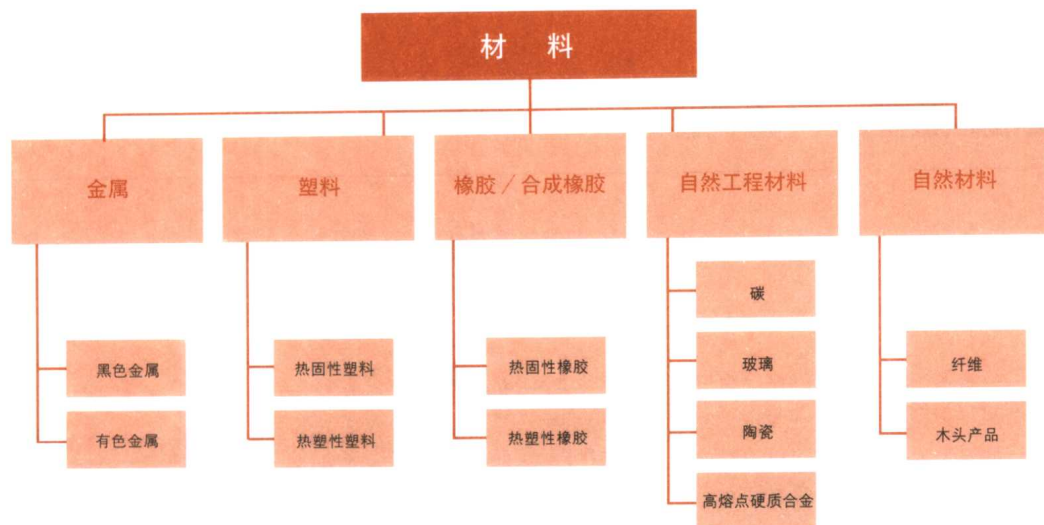


图 2-3 材料

3

金属

纯金属由同一类型的原子组成。而金属合金是由两种或两种以上的化学成分组成，其中至少有一种是金属。在工程应用中，主要使用的是合金。金属一般分为黑色金属和有色金属。每种金属都有其独特的机械性能和物理性能，从而使其能胜任某种特殊的用途。由各种金属合成的大量合金，产生的不同的机械性能可以满足各种特殊需要。近年来金属已适用于粉末冶金，从而使生成合金变得更为简单，并且能够提供某些过去不可能合成的金属。金属的分类见图 3-1。

3.1 金属性能

机械性能

金属具有两种性能——机械性能和物理性能。

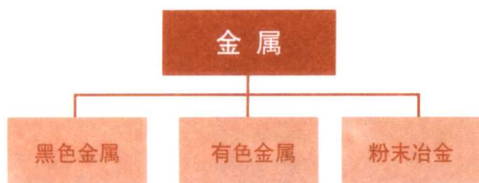


图 3-1 金属

机械性能

掌握材料行为和关注材料机械性能一直是工程师的责任。然而，对于工业设计师来说，至少应当知道描述材料的基本术语，这是非常重要的。

当在异国旅行的时候，努力学习一些你所访问国家的语言是非常有意义的。同样，和工程师在一起工作时，学习一些他们的术语也大有裨益。另外，人们往往使用技术表格罗列材料的机械性能，它描述了各种材料在各种特定条件下的性能。

了解一些关于金属性能和金属行为的基础知识，将会使设计师知道为什么某种形状最适于某种特定的应用，以及从一个材料中如何得到最佳的性能。

机械性能的概述

硬度是材料抵抗穿透和刮划的能力。硬度和脆性是相关的。热的泡泡糖就不硬，一个硬球落在上面将会穿入其中（图 3-4）。但是，同样的球不能穿透玻璃表面。但当球以很大的力冲击玻璃表面，将会击碎玻璃。

脆性和韧性相反。如果泡泡糖冻结了，它将会变脆并且能损坏你的牙齿，或者你能用一个榔头敲碎它。玻璃则是脆性材料的一个典例。

硬度在液态成形和塑态成形中非常重要。例

如,在一把剑的制造过程中(锻造),为了得到锋利的刀刃,必须使钢刃具有一定硬度。但一把剑还必须还能弯曲。如果剑既硬又脆(硬化状态),它弯曲的时候将会断裂,这种性能不是人们所期望的。剑也必须是柔韧的。剑通过巧妙的热处理和操作后,可能会既硬又韧,这是一把好剑所必须的精确的但又显得矛盾的机械性能。

韧性是指材料抵抗塑性变形而不破裂的能力。在这方面,泡泡糖又是一个很好的例子。在咀嚼它的时候,泡泡糖没有被嚼破,而是被牙齿嚼成了一个新的形状。韧性在讨论固态成形中的可弯性和延展性时非常重要。

压缩性是指在压缩载荷下临近破碎前材料变形的延伸量。同样的,热的泡泡糖又是个很好的范例。不管你如何压它或是踩它,它会变平但不会破碎(这就是为什么建筑物的地基不使用泡泡糖的原因)。地基需要一个坚固的,有很突出的压缩强度的材料,例如混凝土。混凝土有很好的压缩强度,但在很重的负载下容易破裂。它很脆。

弯曲度的特点可以用一束纤维表现,它的上部纤维被拉伸,下部纤维被压缩。

扭转即旋转一个物体,使之围绕纵轴扭曲。机器或发动机的曲轴必须由高扭转强度的金属制造,否则用于发动机的时候,在重载下会失效。

抗剪强度是承受剪切力时,材料在未破裂情况下所能承受的最大负载。泡泡糖具有很小的抗剪强度,它极易被剪切。

应变是指材料在延长或收缩时的变形。它是作为在负载下的变形量被给出的。

金属不但有塑性而且有弹性,它们对成形工艺都很重要。这些独特的性能使得大多数金属在成形过程中既能弯曲又能拉伸(图3-2、3-3)。

弹性变形是指材料在产生变形之后,取消应力,然后恢复到原来形状的能力。称之为弹性变形,是因为材料的变形不是永久的。应力-应变曲线图(图3-5)记录了材料是如何被拉伸,然后

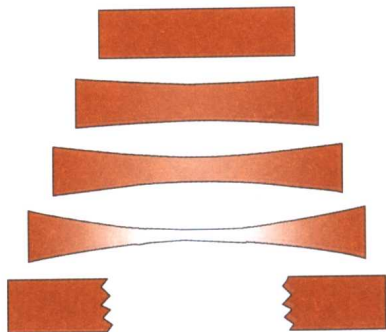


图3-2 弹性变形

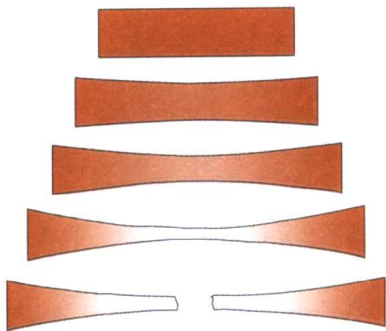


图3-3 塑性变形

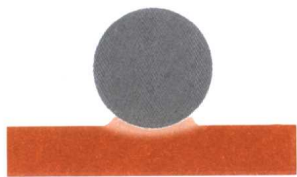


图3-4 硬度测试的压痕

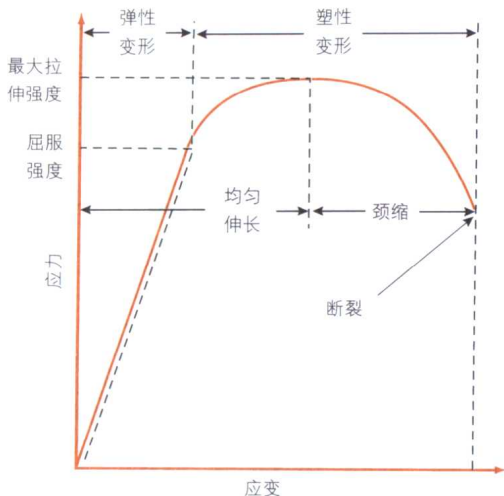


图 3-5 应力-应变曲线

破裂的。橡皮带是一个很好的纯弹性变形的例子（图 3-2）。当被拉伸的时候，橡皮带会变形，它被拉长，横截面变小。当拉力取消后，橡皮带就会恢复到原来的形状。如果拉力超过了它的弹性极限，那么橡皮带就会破裂。但破裂后橡皮带的横截面不会有变化，它没有塑性变形（图 3-2）。

塑性变形和弹性变形相差较大。口香糖是纯塑性变形的好例子。当口香糖被拉伸时，它会变形而且横截面同时也会变化，它会变细。这称之为颈缩。当取消拉力后，口香糖不会恢复到它原来的形状。这称之为塑性变形（图 3-3）。

抗拉强度是材料在破裂（拉断）前所能承受的最大的负载。

屈服强度是材料产生永久变形时的应力。

延伸率是在原长度上的增长量。

物理性能

物理性能概述

下列物理性能是材料的固有性能，通常不易

改变。物理性能通常是保持不变的，而机械性能通过热处理能够发生改变。

浑浊度 / 透明度：传输光的能力（图 3-6）。

颜色：固有的反射波长。

密度：每单位体积的重量（比重）。

电导率：材料传输电流的能力。

热导率：材料传输热量的能力。

热膨胀率：用单位 $1/^{\circ}\text{F}$ 或 $1/^{\circ}\text{C}$ 表示。通常，材料的热膨胀系数与其熔点成反比，高温点的材料热膨胀率较低。铁是一个例外。

磁性 / 非磁性 / 铁磁性：铁族，也包括镍和钴。

熔点：将一种材料的原子之间分离所需的能量。

抗腐蚀性：抵抗主要由氧、化学物品以及其他介质造成的表面腐蚀的能力（塑料的老化也可能由紫外线、水汽等造成）。



图 3-6 使用颜色、透明度以及密度等物理性能对玻璃产品进行光学检查

3.2 黑色金属

晶体

当黑色金属从熔融状态凝结的时候，它的原子有序地排列成若干结构，这样就形成晶体。这些结构呈面心立方 (FCC)、体心立方 (BCC) 或者体心四方晶格 (图 3-8~3-10)。这些晶体排列

的布局是由金属从液态冷却到固态（称为相变）的速率决定的，这种冷却速率也决定了金属是否易碎和有内应力，或者是否柔软并有延展性。金属在制造过程中的行为和应用中的性质取决于它们的化学组成、原子结构和热处理过程。钢的后期热处理是一种用来增加机械性能的最常用的方法。这些应用工艺有淬透、表面处理或表面硬化。为了使金属在加热后变硬，必须进行淬火或快速冷却。快速冷却法除了增强金属的硬度外（通常

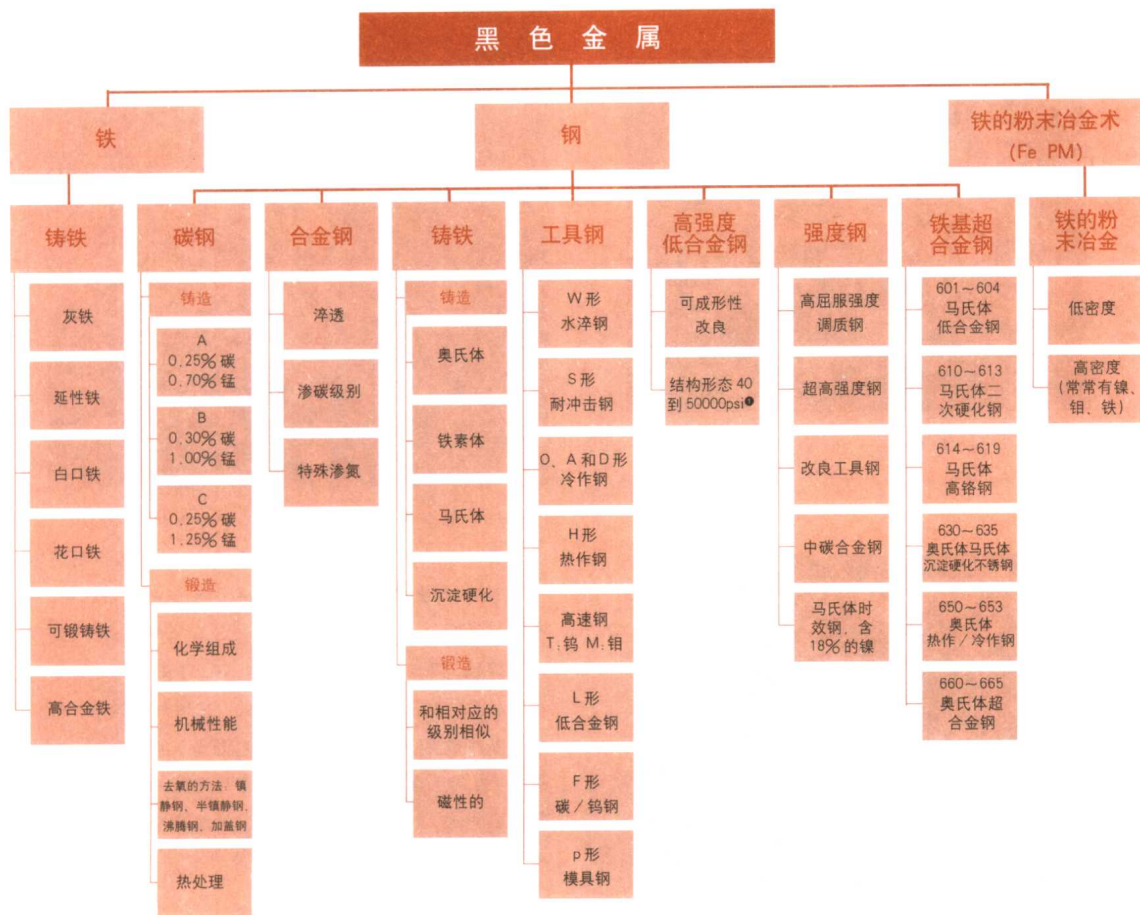


图 3-7 黑色金属表

① 1psi=6894.75729Pa ——中文版注

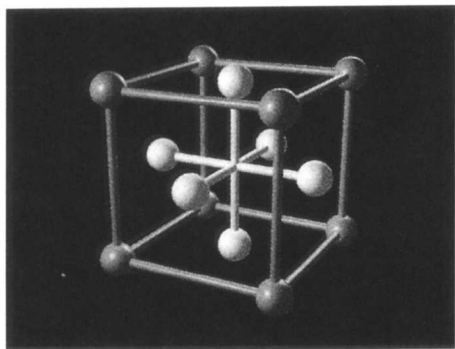


图3-8 铁中高温下FCC——面心立方的奥氏体或者 γ 相

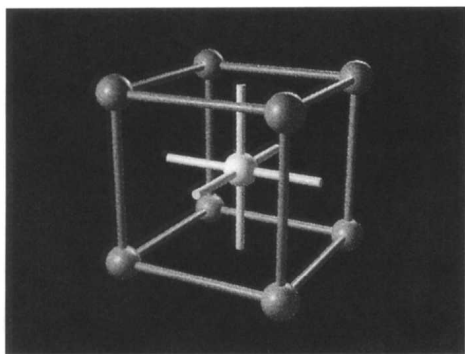


图3-9 将铁缓慢冷却到室温得到的铁素体——BCC——体心立方晶格。原子间宽阔的空间使得这种结构柔软，具有延展性

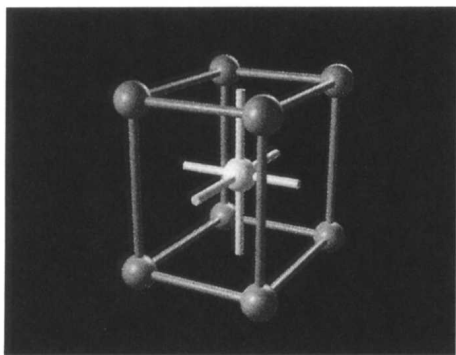


图3-10 将铁淬火得到的马氏体——体心四方晶格，使其扭曲并具有残余应力



图3-11 雅各布·布罗诺夫斯基(Jacob Bronowski)表示，在人类的发展中，科技是人类进步的基础。他展示制剑师杰苏(Getsu)使用古代的冶金术和仪式制造的一块钢坯，来举例说明技术是如何穿越岁月流传下来的。一把剑必须有弹性，同时为了保持锋利的剑刃，它又必须足够坚硬。为了达到这些彼此矛盾的性能，必须切割钢坯，将它不断分成两半，直到有许多的内表面，超过3000层。最后，在剑上覆上一层厚度不均匀的泥土，当被加热并投入水中后，剑身各部分将以不同的速度冷却，这样既硬化了剑又符合了内部不同的性能要求