

材料科学与工程学科教材系列

Principle of Materials Processing

材料加工原理

上册

主编 王浩伟 顾剑锋 董湘怀

非
外
借



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

材料科学与工程学科教材系列

材料加工原理

(上册)

王浩伟
顾剑锋 主编
董湘怀



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书阐述了材料加工的主要工艺方法及加工过程的基本原理。全书共分三篇 18 章。第一篇:液态金属成形原理;第二篇:金属材料塑性成形原理;第三篇:固态相变原理。

本书的特点是将材料加工的基本原理、工艺方法与材料科学的前沿理论有机地结合在一起,并将材料科学应用中的最新技术融入其中。

图书在版编目(CIP)数据

材料加工原理. 上/王浩伟,顾剑锋,董湘怀主编.

—上海:上海交通大学出版社,2019

ISBN 978-7-313-19049-9

I. ①材… II. ①王…②顾…③董… III. ①工程材料—加工 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 070505 号

材料加工原理(上册)

主 编:王浩伟 顾剑锋 董湘怀

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

印 制:上海景条印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:317 千字

版 次:2019 年 5 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-19049-9/TB

定 价:36.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:64071208

经 销:全国新华书店

印 张:13.25

印 次:2019 年 5 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-59815625

编委会名单

顾问委员会

- | | | |
|----|-----|----------|
| 主任 | 徐祖耀 | 上海交通大学 |
| 委员 | 周尧和 | 上海交通大学 |
| | 潘健生 | 上海交通大学 |
| | 吴人洁 | 上海交通大学 |
| | 涂善东 | 华东理工大学 |
| | 张立德 | 中科院固体物理所 |
| | 姜茂发 | 东北大学 |
| | 李春峰 | 哈尔滨工业大学 |

编委会

- | | | |
|-----|-----|---------|
| 主任 | 林栋樑 | 上海交通大学 |
| 副主任 | 吴毅雄 | 上海交通大学 |
| | 蔡 珣 | 上海交通大学 |
| | 王 敏 | 上海交通大学 |
| | 冯吉才 | 哈尔滨工业大学 |
| | 赵升吨 | 西安交通大学 |

委员(按姓氏笔画为序)

- | | |
|-----|---------|
| 王 磊 | 东北大学 |
| 孔向阳 | 上海交通大学 |
| 李 强 | 上海交通大学 |
| 李建国 | 上海交通大学 |
| 陈世朴 | 上海交通大学 |
| 戎咏华 | 上海交通大学 |
| 金学军 | 上海交通大学 |
| 金朝晖 | 上海交通大学 |
| 钱苗根 | 上海交通大学 |
| 黄永昌 | 上海交通大学 |
| 张建旗 | 内蒙古科技大学 |
| 顾剑锋 | 上海交通大学 |
| 赵 震 | 上海交通大学 |
| 唐新华 | 上海交通大学 |

总 序

材料是当今社会物质文明进步的根本性支柱之一,是国民经济、国防及其他高新技术产业发展不可或缺的物质基础。材料科学与工程是关于材料成分、制备与加工、组织结构与性能,以及材料使用性能诸要素和他们之间相互关系的科学,是一门多学科交叉的综合性学科。材料科学的三大分支学科是材料物理与化学、材料学和材料加工工程。

材料科学与工程专业酝酿于 20 世纪 50 年代末,创建于 60 年代初,已历经半个世纪。半个世纪以来,材料的品种日益增多,不同效能的新材料不断涌现,原有材料的性能也更为改善与提高,力求满足多种使用要求。在材料科学发展过程中,为了改善材料的质量,提高其性能,扩大品种,研究开发新材料,必须加深对材料的认识,从理论上阐明其本质及规律,以物理、化学、力学、工程等领域学科为基础,应用现代材料科学理论和实验手段,从宏观现象到微观结构测试分析,从而使材料科学理论和实验手段迅速发展。

目前,我国从事材料科学研究的队伍规模占世界首位,论文数目居世界第一,专利数目居世界第一。虽然我国的材料科学发展迅速,但与发达国家相比,差距还较大:论文原创性成果不多,国际影响处于中等水平;对国家高技术和国民经济关键科学问题关注不够;对传统科学问题关注不够,对新的科学问题研究不深入,等等。

在这一背景下,上海交通大学出版社组织召开了“材料学科学及工程学科研讨暨教材编写大会”,历时两年组建编写队伍和评审委员会,希冀以“材料科学及工程学科”系列教材的出版带动专业教育紧跟科学发展和技术进步的形势。为保证此次编写能够体现我国科学发展水平及发展趋势,丛书编写、审阅人员汇集了全国重点高校众多知名专家、学者,其中不乏德高望重的院士、长江学者等。丛书不仅涵盖传统的材料科学与工程基础、材料热力学等基础课程教材,也包括材料强化、材料设计、材料结构表征等专业方向的教材,还包括适应现代材料科学研究需要的材料动力学、合金设计的电子理论和计算材料学等。

在参与本套教材编写的上海交通大学材料科学与工程学院教师和其他兄弟院校教师的共同努力下,本套教材的出版,必将促进材料专业的教学改革和教材建设事业的发展,对中青年教师的成长有所助益。

林栋樑

前 言

“材料加工原理”是材料科学与工程专业的—门主干课程,也是该专业的主要技术基础课。本课程以“加工原理”为主线,分为“材料液态成形原理”、“材料塑性成形原理”和“材料固态相变原理”三大基本组成部分,力图融合主要工程材料加工过程中共性的、基本的原理,并突出各类材料加工过程中的特性。通过授课、讨论、实验和课外实践等各个教学环节,运用现代教学手段和方法,使学生掌握各类材料在各种加工过程中的物理冶金、化学冶金和力学冶金以及各种组织转变、传热、传质现象等基本概念、基本原理和基本计算方法。并结合材料加工的各种综合实验,了解材料加工制备的基本过程,加深理论认识,掌握实验技能,提高分析问题和解决问题的能力,为学生学习后续课程,从事工程技术工作和科学研究工作打下坚实的基础。

在本书的编写过程中,注意突出了以下几方面的特色:

(1) 根据科学技术发展的最新动态和我国高等学校专业学科归并的现实需求,坚持面向一级学科、加强基础、拓宽专业面、更新教材内容的基本原则。

(2) 结合现今国防军工、航空航天等国家战略领域对新材料的巨大需求,通过实际案例讲解、分析和讨论,旨在培育学生的“学科认同感”。

(3) 遵循由浅入深的认识规律,加强了对一些基本概念的叙述,注重阐述的系统性,以便于学生理解和自学。

(4) 在保留学科经典内容的同时,增加材料加工领域创新技术等相关内容,反映当代科学技术的新概念、新知识、新理论、新技术、新工艺,充分体现教材内容的现代化。

(5) 在教材编写过程中,对国内外同类教材进行了对比分析和研究,吸取了国内外同类教材的精华,重点反映新教材体系结构特色,把握教材的科学性、系统性和适用性。

参与本教材编写的都是工作在材料学科教学研究第一线的、既具有丰富教学经验又具有深厚科研功底的老师。我们希望通过本教材,解决学生对于“为什么要学习材料科学”“学好材料科学能做什么”和“怎么样才能学好材料科学”等核心问题的疑惑。

本教材由上海交通大学王浩伟教授、董湘怀教授和顾剑锋教授主编。第一篇《材料液态成形原理》由王浩伟教授和吴一博士编写,第二篇《材料塑性成形原理》由董湘怀教授、申昱副教授和董杰副教授编写,第三篇《材料固态相变原理》由顾剑锋教授编写。厉松春研究员对本教材进行了认真的审阅,在此表示由衷感谢。

本教材的编写是材料专业基础课程教材创新的初步尝试,由于水平有限,经验不足,时间仓促,必然存在很多缺点和错误,恳切希望读者提出宝贵意见。

目 录

第一篇 液态金属成形原理

第 1 章 绪论	3
1.1 材料应用是人类文明进步的里程碑	3
1.2 材料加工技术与社会生活	5
1.3 材料加工技术的科学基础	6
1.4 《材料加工原理》液态成型部分的任务与内容	9
第 2 章 液态金属及合金结构与性质	10
2.1 液态金属的结构	10
2.2 液态金属的黏度	15
2.3 液态金属的表面与界面	19
2.4 液态金属的流动性	24
第 3 章 晶体生长	29
3.1 晶体生长方式	29
3.2 界面稳定性理论	35
3.3 晶体成核理论	54
第 4 章 金属的凝固	75
4.1 单相合金的凝固	75
4.2 界面稳定性与晶体形态	80
4.3 多相合金的凝固	88
第 5 章 定向凝固技术	96
5.1 传统定向凝固技术	96
5.2 新型的定向凝固技术	101
5.3 定向凝固技术存在的问题及展望	106
第 6 章 材料加工过程中的化学冶金	107
6.1 概述	107
6.2 气体与液态金属的反应	110
6.3 熔渣与液态金属的反应	125
6.4 热加工过程中的保护措施	145
6.5 加工引起的内应力	149
6.6 主要冶金缺陷	151

第 7 章 外场作用下的液相成型	183
7.1 外场凝固概论	183
7.2 电磁加工技术	187
7.3 微重力下的凝固	196

第一篇 液态金属成形原理

第1章 绪论

材料科学与工程是一门综合利用现代的先进科学技术成就、多学科交叉、知识密集、投资量大的一门科学。根据其基本组分,材料科学可归纳为金属材料(metallic materials)、无机非金属材料(inorganic non-metallic Materials)、高分子材料(polymer materials)、先进复合材料(advanced composite materials)四大类。而材料加工是实现材料在工程中应用的主要工艺过程。《材料加工原理》阐述了材料加工的主要工艺方法及加工过程的基本原理。

1.1 材料应用是人类文明进步的里程碑

材料是人类社会用于制造有用物件的物质。

人类的文明史是以材料划分的,它经历了石器时代、青铜器时代(包括红铜和青铜时代)和铁器时代,现在进入了人工合成材料的新时代。

石器时代经历了200万年至300万年,由红铜时代到青铜时代经历了大约1600年,由青铜器时代进入到铁器时代又经历了1000年。由铁器时代开始,至今已经历了约5000年。这也就是说,随着金属冶炼被人类应用的发展,人类由石器应用的几百万年缩短至金属材料(青铜器与铁器时代)应用的几千年。人类进入文明社会是以使用金属材料(铜与铁)开始的。早在公元前4500年,古埃及人便掌握了炼铜技术,我国用矿石炼铜始于公元前2000年(夏代早期),晚商和西周是我国青铜时代的鼎盛时期,重达875kg的“司母戊”大方鼎迄今仍珍藏在我国博物馆里。铜是人类最先使用的金属,在青铜器时代,铁比铜要宝贵,这是因为当时炼铜比炼铁更容易,并且在地球表层中往往有呈自然金属状态存在的自然铜,以“露头”形式存在,因而容易被发现与开采。

人类最早使用的铁是陨石铁(又称自然铁,也叫陨铁)。古埃及在5000年以前的前王朝时期,曾用含镍7.5%的陨石铁做成铁珠。从美索不达米亚出土的文物证明,在公元前3000年就有了铁器,在公元前2000年人类就掌握了铸铁技艺。我国重达270kg的铸铁刑鼎是公元前513年铸造的。铸铁的历史经历了5000年的漫长岁月,只是到了瓦特发明蒸汽机以后,由于在铁轨、铸铁管制造中的大量应用,才走上了工业发展的道路,而在此以前,铸铁只用来制造祭器、艺术品、兵器和农具。15世纪初,炼铁高炉首先在欧洲迅速发展,到17世纪,已有高达9m、日产铁1t的高炉出现。炼钢技术则是在蒸汽机出现(1755年)并且能够提供强大的鼓风和动力以后才得以发展的。贝塞麦(H. Bessemer)于1856年发明了酸性转炉炼钢;1879年,托马斯(S. G. Thomas)发明了碱性转炉炼钢;1855年,西门子兄弟(K. W. F. Siemens)发明蓄热室以及1864年马丁(P. E. Martin)利用这种蓄热室发明了平炉炼钢;随后,在1899年赫鲁特(P. L. T. Heroult)发明了电弧炼钢。由此,奠定了近代钢铁工业的基础。

除了钢铁以外,有色金属也得到了发展。1866年,哈尔(C. M. Hall)发明了电解铝,至今

它已成为用量仅次于钢铁的金属。1910年,用钠还原得到了纯钛,从而满足了航空工业的需求,核工业的需要促进了铀及其他核燃料的发展,而电子和半导体工业则促进了超纯材料(单晶硅等)的发展。

此外,在非金属材料领域,特别是进入20世纪,取得了重大进展。人工合成高分子材料从20世纪20年代至今,其产量之大、应用之广可以和传统的钢铁材料相比。1984年,全世界合成高分子聚合物产量已达1亿t,其中包括塑料、合成橡胶和合成纤维。

陶瓷是人类文明的象征。50万年以前,人类学会用火以后,就开始烧制陶器,这是经过热处理改变材料性质的开始。在新石器时期,世界先后在不同地区制出了原始陶器。我国出现原始陶器可追溯到距今10000年左右。至于玻璃的生产,早在公元前1600年的古埃及就已经开始。在古希腊和罗马,已有石灰和火山灰混合成的胶结材料,而近代的硅酸盐水泥则是1824年由阿斯普丁发明的。混凝土用于建筑材料已有数百年历史,但在现代结构工程中所使用的混凝土则是19世纪一次偶然的的机会,一位花匠把水泥撒在花盆中,因而得到了混凝土。随着材料科学技术的发展,陶瓷材料在冶金、建筑、机械、化工及尖端技术领域,已成为耐高温、耐腐蚀和各种功能材料的主要来源。例如,耐高温、耐腐蚀的氧化铝;将电信息转变为光信息的铈酸锂;用于切削刀具的氮化硅;具有高温超导性能的氧化钇等。

金属材料、陶瓷材料和人工合成高分子材料一起构成了当今工程材料的三大支柱。

材料一直在面临着人类社会的选择,而这种选择是由社会需要所决定的。材料能否被社会需要,这要由5个判据来决定:资源、能源、环境保护、经济和性能。材料的发展始终处于激烈的竞争之中,首先是三大类材料,即金属材料、陶瓷材料和高分子材料之间的竞争,另外是材料大类中不同种类间的竞争,例如金属材料中黑色金属与有色金属的竞争。材料之间也存在着共生关系,如高炉炼铁的炉渣可用做水泥的原料;炼焦的副产品——炼焦油,则是重要的化工原料。

关于材料的进一步开发,可以从传统材料的改进和新材料的开发两方面来论述。

1. 传统材料的改进

改进传统材料最有效的措施就是改进加工技术,由此可提高材料的性能,提高生产率和降低成本。氧气炼钢不仅加速了冶炼过程,而且还提高了钢液质量(含磷量降低,气体含量降低,钢材深冲性能提高);提高风温强化了高炉炼铁过程,从而降低了能源消耗,提高了铁液质量;连续铸锭和连续轧制的加工技术加快了生产,也降低了能源消耗。

新工艺的采用可导致新材料的兴起和旧材料的衰亡。例如,奥氏体不锈钢具有较高的耐蚀性,被广泛用于制作化工器件,但这些器件经焊接后,在热影响区可能有严重的晶间腐蚀,这与晶间碳化物的沉淀析出有关。为此,采用超低碳($C < 0.03\%$)不锈钢来解决,但是在电弧炉中生产超低碳钢时,铬烧损多、炉龄低、成本高,因而不得不采用表面质量差的Cr18Ni9Ti不锈钢作为替代。但是,20世纪70年代开始采用氩氧脱碳(AOD)技术生产超低碳不锈钢,使成本降低,质量提高,因而这种钢正在迅速取代Cr18Ni9Ti不锈钢。

2. 新材料的开发

1) 能源材料

过去30年,燃气轮机叶片的工作温度平均每年提高 6.67°C ,工作温度提高 83°C 就可使推力提高20%,这种成就的取得是由于强化了镍基高温合金,采用了定向凝固技术所致。采

用快速凝固(液态急冷)技术制取粉末和等静压成形技术,可使工作温度进一步提高。采用 Si_3N_4 或 SiC 可使叶片的长期工作温度提高到 $1\ 200^\circ\text{C}$ 以上。

输电变压器的铁损,全世界每年损失电能 4 000 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,若采用非晶态金属,每年可节约 1 000 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

当前,地球的能源危机使太阳能的利用成为当务之重,因此光电转换材料非晶硅等备受重视。

2) 信息材料

信息的储存和传递装置要求体积小、轻巧和快速。硅芯片内的线宽,1960 年为 $30\mu\text{m}$,1986 年降至 $1\mu\text{m}$,因而每片可容纳 10^5 以上的晶体管,储存 1.6×10^5 bit 的信息,1990 年达 $0.1\mu\text{m}$,由此可见光刻技术已由可见光转为高能电子和 X 射线。

20 世纪 70 年代中期开始用光导纤维通话,非线性光学材料已在研制,它类似于晶体管放大电信号,可以放大光信号。用于光信息的接收、传递和发射的材料,正在研制中。

3) 生物材料

现正在研制各种新材料,特别是高分子、陶瓷、复合材料来替代人体的各种组织和器官,如血管、心瓣、心脏、骨骼、眼睛、皮肤等。过去认为,人体材料应该不与人体环境发生化学反应的;今天则认为,不是所有的化学反应对人体都是有害的,可以利用这些反应来增强界面结合或吸收外来物质。生物医学材料在美国以每年 13% 的速率递增。

4) 汽车材料

在工业发达国家,汽车工业与建筑业、农业机械并列为三大支柱产业。汽车轻量化成为社会发展的要求。美国 1980 年汽车平均质量是 1 500kg,1990 年则是 1 020kg,铸铁的比例由 15% 减至 11%,每台车的铸铁用量由 225kg 降至 112kg,此时铝合金由 4% 增至 9%;采用陶瓷材料制作汽车发动机以取代金属材料的发动机具有显著的技术经济效果,陶瓷比金属能耐受更高的工作温度,因而使燃油在发动机内的燃烧效率更高,并且发动机的自重也会减轻。

5) 其他

具有高临界超导温度 T_c 的超导材料将走向实用阶段,薄膜超导材料已基本成熟;高临界超导温度为 T_c 的超导块体材料研制已取得很大进展,最高 T_c 值已达到 135K,电流密度达 $10^5\text{A}/\text{cm}^2$,已用银带包覆法做出了成卷的 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ 材料。

非晶态金属作为软磁材料可用于制造变压器铁芯,铁损只相当于冷轧硅钢片的 1/3。非晶态铁基合金 $\text{Fe}_{72}\text{Cr}_3\text{P}_{13}\text{C}_7$ 的耐蚀性能优于不锈钢。非晶态金属的用途广泛,美国已有单台 1 t/h 的连续自动卷曲装置生产非晶态金属。

当材料颗粒小到纳米级时,会出现奇异的性能,如扩散系数提高;溶质原子的溶解度提高;陶瓷由脆性变为塑性;导体变成非导体;非导体变成导体。C60 的发现为合成新材料又开辟了一条新路:合成金刚石,可以用于提高临界超导温度以及用它制作催化剂、润滑剂和治癌药物的载体等。

1.2 材料加工技术与社会生活

1968 年出土的越王勾践剑,其优美的剑身和优良的性能,令处在现代技术背景下的人

们叹为观止。历史上著名的“大马士革剑”，是以高碳锋钢为剑锋，以低碳软钢为剑背复合锻造而成的，这种制造技术的发明是中东出现叙利亚帝国的重要原因。

核电站的关键部件和结构件的制作在很大程度上取决于材料加工技术所能达到的水平，其主要部件均由热加工方法制造，如透平机轴长 65m，末级叶片长达 1.356m，这都是铸造和锻造加工的产品。反应堆的压力容器为热加工工件，其上部有 4 个进水管，4 个出水管，它的总重为 483t，高 12.85m，直径 5.57m，壁厚 200~600mm。这是工艺参数要求极其严格的设备，也是加工工艺过程十分复杂的设备。

用定向凝固方法制造的单晶高温合金叶片，使美国的战机可以用 3Ma 以上的速度巡航。在宇航工业中，运载工具最重要的要求是应具有尽可能高的推力重力比。为此，必须采用各种轻型材料和结构，因而与此相应的技术是至关重要的。火箭是由三级液体燃料发动机或者固体燃料发动机组成的，火箭的全部结构件，包括燃料箱、助燃剂箱、涡轮泵、压力瓶、壳体等均采用热加工技术或组合工艺技术制成。

你可能没有想过家中大屏幕电视平面直角显像管是怎样加工制造的；当你埋怨圆珠笔漏油的时候，可能并不清楚珠与笔尖配合加工制造技术的难度。全世界每年消耗的易拉罐饮料 100 亿听以上，很少有人知道生产易拉罐的深拉伸技术给我们的生活带来了巨大的方便。带陶瓷涂层的金属假牙(牙套)，不仅可以与真牙同色，而且其使用效果也可以与真牙一样。用钛合金制造的人工骨与人体组织有很好的相容性，为成千上万的肢残者带来了福音。生物材料加工技术正在发展成为现代材料加工技术的一个重要分支。

1.3 材料加工技术的科学基础

从地球上最早出现原始人起，材料的利用与加工就在人类的生活中占据着重要的位置。在原始时代，人类部落附近的天然材料就逐渐被使用起来，岩石、骨骼、兽皮、木材、贝壳等。由此，人们认为大自然赋予的材料可以加工，人类通过材料具有的使用性，得知它们的性能、加工工艺及它们在多种用途中的行为。从而，人类对自然界的适应性也从认识上在不断深化。

从青铜器时代到 18 世纪工业革命开始，人类社会的文明进步缓慢，尽管早已开始使用铁器，但加工水平低，材料加工技术一直停留在技艺的传承水平，缺乏科学的理论指导，也不能广泛传播，靠的是师傅传徒弟的技艺传递方式，不仅不能保证一代比一代进步，而且好的技艺非常容易失传。19 世纪 60 年代金相技术的发明，使人类可以从内部组织的角度来认识材料，了解组织结构决定材料性能的科学知识，让材料加工不仅改变材料的外部形状，同时控制内部组织与性能。金相原理也是现代金属学乃至整个材料科学的发源地。采用电子显微镜揭示了材料的亚结构；采用 X 射线衍射仪揭示了晶体与分子结构；俄歇谱仪提供了材料表层，特别是断口和晶界的化学成分；扫描隧道电子显微镜、原子力显微镜等各种先进仪器的不断涌现，在更深的层次上揭示了材料中的奥秘。至今，用激发光谱可显示原子结构；用高能轰击技术可观察核结构。材料内部结构形成了现代材料加工的科学基础。

材料科学研究材料的组织、结构与性能的关系。建立在材料科学基础上的材料加工技术就是现代材料加工。它已不仅仅是一种技艺，而是包括有科学的原理。因而组织与成分

(composition-structure)、制备与加工(synthesis—processing)、性能(properties)及使用性能(performance)称为材料科学与工程四个基本要素。材料科学与工程是一门把基础科学提供给实践研究和社会需要的科学(见图 1-1)。

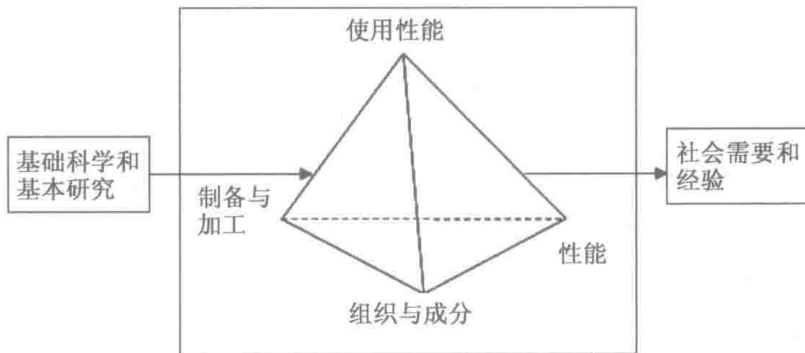


图 1-1 材料科学与工程四要素

材料加工实质上就是材料工程。材料加工技术也取决于材料的结构与性能。例如,采用铸造和塑性加工技术,可以得到直接的性能,而这样得到的直接性能反过来也会影响材料随后的加工与性能(见图 1-2)。

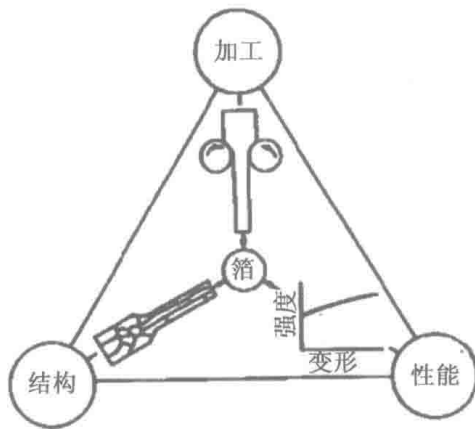


图 1-2 结构、性能与加工方法三者的关系

1. 性能

材料的性能可分成两类:力学性能和物理性能。通常,材料的力学性能是指强度、塑性、刚性、冲击韧性、疲劳性能、高温蠕变性能及抗磨性能。材料的力学性能不仅要满足它在工作时的要求,还要考虑它的加工成形,是否很容易就能得到所需的形状。采用锻造成形的金属零件,必须能承受在成形过程中高速施加给它的作用力,不出现裂纹,并有足够的塑性变形以最终得到所需的形状。通常,结构的微小变化会导致材料在性能上发生显著变化。

材料的物理性能包括电学的、磁学的、热学的及化学的行为(见表 1-1)。物理性能取决于材料的结构和加工技术。即使成分发生微小的变化也会使许多半导体金属和陶瓷的导电性发生显著变化。高的焙烧温度可大幅度降低陶瓷的绝热性能。

表 1-1 力学性能与物理性能内容

力学性能	物理性能
蠕变	化学腐蚀、精炼
蠕变速度	密度
应力-持久强度	电学
塑性	导电性
%延伸率	介电性(绝缘性)
%断面减缩率	铁电体性
疲劳	压电性
疲劳极限	磁学
疲劳寿命	亚铁磁性
硬度	铁磁性
抗划痕能力	顺磁性
磨损速度	光学
冲击	吸收
吸收能	颜色
韧性	衍射
转变温度	激光作用
强度	光导
弹性模量	反射
抗拉强度	折射
屈服强度	透射
	热学
	吸热能力
	导热性
	热膨胀

2. 结构

最微细的水平就是组成材料的原子结构,电子围绕原子核的排列情况对于材料的电学、磁学、热学、光学乃至耐蚀性能均有重大的影响。尤其是,电子的排列会影响原子的键合,因而可以把材料分为金属、陶瓷和高分子材料三大类。

第 2 个水平就是原子在空间的排列。金属、许多陶瓷和某些高分子聚合物在空间均具有非常规则的原子排列,即晶体结构。晶体结构会影响金属的强度、塑性和抗震性能等。另外,一些陶瓷材料和大多数高分子聚合物则不具有规则的原子排列。具有非晶态的材料,也就是呈玻璃态的材料,与晶体材料有很大的差别。例如,呈玻璃态的聚乙烯是透明的;而呈晶体态的聚乙烯是半透明的。

第 3 个水平则是材料的晶粒结构。在大多数的金属、某些陶瓷材料和个别的高分子聚合物中均有晶粒结构。在这些晶粒中,由于原子排列而改变了它们的取向,从而影响了材料的性能。在晶粒结构水平上,晶粒的尺寸和形状起着关键性的作用。

第 4 个水平就是材料的多相结构。在大多数材料中存在不止一个相,其中每一个相均

具有其独特的原子排列和性能。控制材料基体中这些相的形式、尺寸、分布和数量,就为人们提供了一条改善材料性能的途径。

3. 材料加工

“材料加工”可以把原来是无定形的材料加工成形状和性能满足要求的材料。金属材料加工可以采用铸造、焊接、锻压、粉末冶金和切削加工的方法;陶瓷材料的加工可以采用铸造、锻压、挤压、压制和高温热处理以去除水分并把单独的组元联结在一起;高分子聚合物材料的加工则是把软化的塑料喷射至压型中成形(与铸造很相似),也可采用拉拔和压力成型的方法。总的来说,材料加工技术按照加工方法分类有凝固加工、塑性加工、粉末冶金、热处理、焊接和机加工等;按照加工时材料的状态分类有气态加工、液态加工、半固态加工和固态加工等。

一定成分的材料,经过确定的合成与加工的工艺手段表现出一定的性能,而这些主要取决于材料的成分和结构。而使用性能是材料在使用状态下表现出来的行为,它与设计、工程环境密切相关。有些材料的实验室性能很好,但在复杂的使用条件下,如在氧化与腐蚀、疲劳及其他复杂载荷条件下,就不会令人满意了,甚至失效,这一点在材料科学与工程的研究中显得特别重要;又如在大气中熔化与浇注铝合金时,发现在最终的铸件中出现气孔,这就是冶金缺陷。在高温下,高强度合金急剧丧失它们的某些性能。对于高分子聚合物来说,经过辐照以后,其性能会令人惊异地改变。合成与加工过程的内容很丰富,既包括传统的冶炼、铸锭、制粉、压力加工、焊接等,也包括各种新发展的真空溅射、气相沉积等新工艺;从微观水平到宏观制品,从制取高纯单一元素到多种材料的复合,各种化学的、物理的、机械加工的方法均应综合利用。这对新材料的生产应用往往起决定性的影响。一种新工艺的出现必将促进一系列新型材料的产生。

综上,大量的基础学科的知识指导材料成分、结构与性能的研究,也指导合成与加工的发展,通过合成与加工生产出可供人们使用的工程材料,而工程材料在使用过程 中所暴露的问题,再反馈到成分、结构和性能的研究中,进而改进材料的合成和加工,得到更为合适的工程材料(包括结构材料与功能材料)。如此反复,使材料不断改进而更加成熟,这就是材料科学与工程 的全面内涵,也是材料科学与工程研究的内容与任务。

1.4 《材料加工原理》液态成型部分的任务与内容

《材料加工原理》一书叙述了材料液态成形的基本原理、工艺方法。本部分内容分七章,着重介绍液态金属性质、液态成型过程中的传输现象、晶体生长的规律、凝固过程、快速凝固、定向凝固、外场作用下的凝固等新型方法以及化学冶金与化学缺陷,旨在让读者对材料加工的液态成形的原理和方法有系统的理解,为开发新材料和新的成形技术奠定理论基础。