

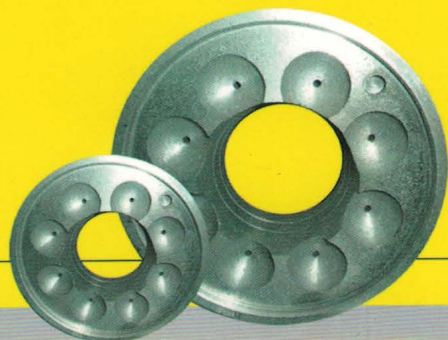
日本经典技能系列丛书

模具材料

性能与应用

THE FUNCTION AND APPLICATION OF
MOULD MATERIAL

[日] 並木 邦夫 著
高娟 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

日本经典技能系列丛书

模具材料 性能与应用

[日] 並木 邦夫 著
高娟 译



机械工业出版社

本书以日本模具材料为例，介绍了模具材料的基础知识与应用。本书内容深入浅出，丰富实用，图文并茂，不但涵盖了模具钢的制造方法，而且涉及其性能、适用范围、热处理工艺及其对模具钢性能改善和强化的效果；同时对模具失效进行了分析并提出了对策，还对模具材料的发展趋势作了阐述；为便于读者学习，还列出了模具钢主要生产国和日本主要厂家的牌号对照表。因此本书不仅是一本入门书，也是一本实用的指导书；不但有理论深度，更有应用实例以及许多经验的总结。

本书不仅可供模具行业的技术人员和一线操作人员使用，也可供大中专院校相关专业师生参考。

序

作者並木邦夫博士现任日本《特殊钢》专业期刊的编辑委员长，多年来在日本大同特殊钢株式会社从事工模具钢的研发和技术服务工作。自 20 世纪 90 年代后期开始，他便通过模展及学会等与我国模具行业有了友好往来，曾邀请中国模具工业协会在日本《特殊钢》杂志上发表文章介绍我国模具行业的发展。

8 年前，为了便于模具行业人员了解及正确选用模具材料，並木先生凭借广泛的学识和丰富的经验，撰写了有关模具材料的入门专著《はじめての金型材》，作为技术入门图书在日本出版，获得了广泛好评。

日本生产的许多工模具钢在我国模具行业已被广泛应用多年。为了帮助我国模具行业人员能更加深入地了解以及正确选用这些模具材料，並木先生希望将此书介绍给我国读者。

在该书中文版《模具材料性能与应用》付梓之际，並木先生请我为之写序，实乃愧不敢当，但盛情难却，于是只好将本书的原委记述于此。

我之所以愿意帮助将此书引入我国，主要是出于四方面考虑。一是从 20 世纪 90 年代开始，我国模具工业发展很快，规模和水平都得到了很大提高，但模具钢的供应一直处于不相适应的状态，甚至可以说模具钢已经成了我国模具工业进一步发展的瓶颈之一。二是在我国国产模具钢的品种、规格、性能、质量以及配套供销等方面存在种种不足的情况下，进口模具钢的品种和数量逐年增多，其中日本大同特殊钢就是典型的品牌之一。三是长期以来，我国模具行业一直存在着如何正确选择好和使用好模具钢的问题，能在这方面提供帮助的有关书籍和资料不多。四是日本既是模具生产大国和强国，也是模具材料生产强国，其中日本大同特殊钢株式会社研制出的许多模具钢具有世

界性影响。相信並木先生的著作一定具有很大的实用价值。

《模具材料性能与应用》从何谓模具开始娓娓道来，深入浅出，内容丰富、实用，图文并茂，不但涵盖了模具钢的制造方法，而且涉及其性能、适用范围、热处理工艺及其对模具钢性能改善和强化的效果；同时对模具失效进行了分析并提出了对策，还对模具材料的发展趋势作了阐述；为便于读者学习，还列出了模具钢主要生产国和日本主要厂家的牌号对照表。因此，这本书不仅是一本入门书，也是一本实用的指导书；不但有理论深度，更有应用实例以及许多经验总结。

最后衷心祝愿该书在我国顺利出版，并能为我国模具工业的发展作出一定的贡献。

周永泰

2014年2月于北京

前 言

从汽车、家电、数码电器到日用品，铁、铝及塑料产品等在我们的生活中随处可见。大量制造这些产品或零部件的成形工具就是模具。对模具的要求主要是在保证高精度的同时发挥其各种功能，并具有较长寿命。用来制作模具的材料就是模具材料。虽然消费者几乎不直接接触它们，但它们才是建造我们多彩生活的“幕后英雄”。

用作模具材料的钢主要是工模具钢，是特殊钢的一种。特殊钢属于钢铁材料，钢铁材料属于铁，铁又归类为金属。人类自石器时代起，经历了青铜器时代，在掌握了铁的应用后进入铁器时代，从而获得了大幅度的发展。人类与其他动物的不同之处在于火和工具的使用，作为工具的模具就是用具，因此在一定意义上来说，模具为人类的发展做出了贡献。

本书于2006年作为面向日本国内初学者的教科书而出版。具有一定专业知识的人员或其他领域的技术人员，通过本书可以温习基础技术及学习新技术。因此本书内容不限于介绍原理，对来自实际应用方面的课题、具体的模具材料、材料的热处理工艺等也作了介绍，并尽可能做到通俗易懂。另外，为方便东南亚国家及一些通用英语国家的模具材料工作者使用，还出版了英文简装版本。因此其读者不仅是大同特殊钢集团的员工，而且包括广大用户们。

承蒙多年从事中国模具行业指导工作的周永泰先生的引荐，得到出版中文版本的机会。中国汽车和家电等产业的发展令人瞩目，模具行业的某些领域已达到国际水准。另外，追溯历史可知，中国曾为日本之师，日本今后也需要与中国进一步加强合作，所以非常高兴能出版中文版本，并对周永泰先生亲自予以审阅指导深表感谢。

本书于2006年出版以来已经过了7年，其中有些统计数据及各模具材料生产厂家的品牌等已经陈旧，因此借此出版机会尽可能对内

容进行了更新修订。

特殊钢与普通钢的不同之处是“含有合金元素，热处理后使用”。作为模具材料使用的工模具钢含有多种合金元素，并进一步利用正火、淬火、回火等热处理工艺来使其特性得到更好的发挥，正可谓特殊钢中的特殊钢。从这个意义上讲，学习并掌握好作为模具材料使用的模具钢的知识，即可窥一斑而知全豹。对于模具钢的钢种来说，既有各国标准规定的钢种，也有企业钢种。这是因为虽然钢的成分相同，但是厂家通过各自的成分设计和制造方法赋予材料独特的“味道”，并经过长期实践检验而树立良好的信誉，逐渐形成了自己的品牌。因此，本书也根据需要，就 JIS 钢以外的钢种牌号也进行了说明，并列出了主要钢种牌号的对照表。

希望这本拙著的出版，能为增进中日双方模具材料及相关行业工作的交流合作尽微薄之力。

最后，对反复精读原著，为中文版翻译尽力的大同特殊钢株式会社高娟女士表示衷心的感谢。

並木 邦夫

2014 年 1 月于日本东京

序 前言

第1章 何谓模具	1
1.1 常用产品的制造方法及其模具	2
1.2 模具的定义	5
1.3 产品的成形方法与模具	5
1.4 模具产业的发展趋势	8
1.4.1 模具产业的变迁	8
1.4.2 模具产值	10
1.5 模具的制作过程与模具材料的重要性	12
第2章 模具与模具材料的历史	15
2.1 铁的历史	16
2.1.1 金属的问世	16
2.1.2 铁的问世	17
2.1.3 欧洲炼铁的进步	19
2.2 工模具钢的历史	20
2.2.1 合金钢的问世	20
2.2.2 向实用钢的进化	20
2.2.3 近代工模具钢的发展过程	21
2.3 日本的钢铁发展史与特殊钢	22
2.3.1 日本的钢铁发展史	22
2.3.2 特殊钢的制造与工模具钢	23

2.4	模具的历史	24
第3章	模具材料的性能要求	27
3.1	模具材料的基本性能	28
3.1.1	显微组织	28
3.1.2	硬度	30
3.1.3	淬透性	31
3.1.4	耐磨性	35
3.1.5	强度——抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗扭强度	35
3.1.6	疲劳性能	37
3.1.7	韧性	39
3.1.8	高温强度	41
3.1.9	合金元素对工模具钢的影响	41
3.2	模具制作的性能要求	45
3.2.1	切削性	45
3.2.2	尺寸稳定性	47
3.2.3	镜面性	49
3.2.4	焊接修复性	50
第4章	模具材料面面观	53
4.1	JIS 规定的工具钢	54
4.1.1	碳素工具钢	56
4.1.2	合金工具钢	57
4.1.3	高速工具钢	60
4.2	用作模具材料的品牌钢	64
4.3	冷作模具钢	64
4.3.1	损伤形式与性能要求	64
4.3.2	冷作模具钢的化学成分与性能定位	66
4.3.3	冷作模具钢的性能	75
4.3.4	冷作模具钢的选用方法	81

4.3.5 冷作模具的未来发展趋势	81
4.4 热作模具钢	84
4.4.1 损伤形式	84
4.4.2 热作模具钢的化学成分与性能定位	87
4.4.3 锻造模具用钢	93
4.4.4 压铸模具用钢	96
4.4.5 热挤压模具用钢	102
4.4.6 热作模具钢的选用方法	104
4.5 塑料模具钢	107
4.5.1 塑料模具的发展背景	107
4.5.2 塑料模具的性能要求	109
4.5.3 塑料模具钢与性能定位	112
4.5.4 特殊的塑料模具钢	120
4.5.5 塑料模具钢的选用方法	123
4.5.6 塑料模具的制作技术	125
4.6 橡胶模具和粉末成形模具材料的选用	127
4.7 有色金属	128
4.7.1 锌合金、铜合金和铝合金	128
4.7.2 硬质合金	128
第5章 赋予模具活力的热处理	133
5.1 何谓热处理	134
5.1.1 模具材料的热处理	134
5.1.2 热处理与相变	134
5.2 热处理的基础知识	136
5.2.1 正火	137
5.2.2 退火	137
5.2.3 淬火	139
5.2.4 回火	145
5.2.5 固溶处理和时效硬化	150

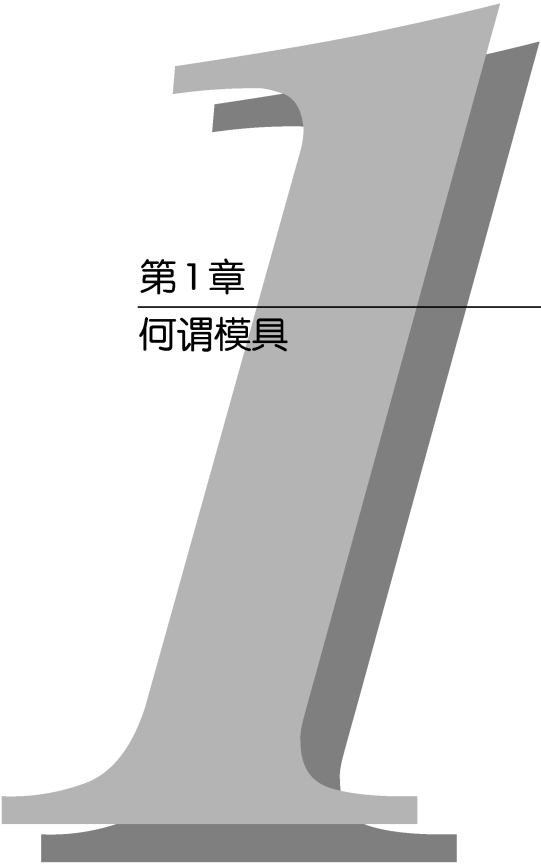
5.3 实际生产中模具材料的热处理过程	150
5.3.1 碳素工具钢	150
5.3.2 低合金工具钢	151
5.3.3 高合金工具钢	153
5.3.4 高速工具钢	156
5.4 热处理的常见问题与解决措施	157
5.4.1 淬火开裂	158
5.4.2 硬度不足	159
5.4.3 尺寸变形	159
5.4.4 其他	160
5.5 表面硬化处理和表面改性	160
5.5.1 氮化	161
5.5.2 扩散处理	163
5.5.3 镀层	163
第6章 模具材料的制造方法	169
6.1 特殊钢的制造方法	170
6.2 熔炼和精炼	172
6.3 重熔精炼	174
6.3.1 真空电弧重熔	174
6.3.2 电渣重熔	175
6.3.3 适合重熔精炼的模具钢举例	176
6.4 锻钢和轧钢的制造方法	177
6.5 粉末高速工具钢的制造方法	178
6.6 二次加工	180
6.7 模具材料的检验项目与试验方法	180
6.7.1 化学成分	181
6.7.2 组织检验	182
6.7.3 力学性能试验	184
6.7.4 无损检测	195

第7章 模具材料的今后	199
7.1 今后对模具材料的期待	200
7.2 全球化发展	202
7.3 模具材料与材料技术工作者	203

穿插小专栏

- “铁”的语源
- 成为历史遗产的炼钢电炉
- 探索微观世界
- 用研究者名字命名的显微组织
- 浅谈钢种牌号的含义
- 金相组织学的地图——相图
- 埃菲尔铁塔是用钢铁建成的吗？

附录 工具钢钢号近似对照表	205
---------------	-----



第1章

何谓模具

说起模具，从汽车、家电到信息产业，可以说它是支撑着这些产业的基础。

然而，影响模具质量和性能的关键因素是模具材料。

本章主要就制造各种产品的模具进行概要说明，并围绕模具产业和模具的变迁以及模具材料的背景加以阐述。

1.1 常用产品的制造方法及其模具

汽车已成为我们日常生活中不可缺少的交通工具。不过，你是否知道汽车是由何种材料构成的呢？不同材料所占汽车质量的比例称为材料构成比率。由图 1-1 可知，汽车是由普通钢、特殊钢、铸铁、有色金属、塑料、其他非金属材料等构成^[1]。为降低燃料消耗量，达到汽车的轻量化，铝及塑料的构成比率呈逐渐增加趋势。

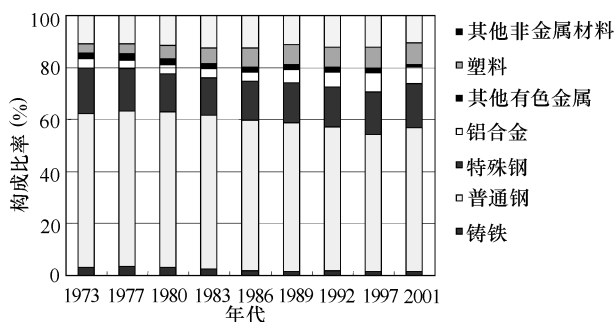


图 1-1 汽车材料的构成比率

注：图 1-1 的近期数据未见发表，为方便理解，以过去数据作为大致构成比率的参考。

将这些材料制造成各种结构件及零部件，靠的就是模具。构成汽车的零部件有底盘、发动机罩、行李箱、车门等，还有提供动力的发动机、传递动力的变速器、与路面接触的轮胎、具有操纵功能的转向盘，以及玻璃制品和内饰件等。制造各个零部件时，虽然所用的成形方法不同，但是几乎都靠模具成形。

那么，各零部件又是用什么材料、如何成形的呢？通过表 1-1 可以发现，底盘和车架主要使用普通钢（低碳轧制钢材），最近也使用高强度钢板经冲压成形。在构成发动机的零部件当中，气缸体用铸铁或铝合金，分别经铸造和压铸而成。气缸盖为铝压铸件。连杆和曲轴等采用碳素钢及非调质钢经热锻成形。

表 1-1 汽车零部件的制造工艺及其模具钢

零 部 件		原 材 料	制 造 工 艺	模 具 钢
底盘、框架、车体部件		普通钢	冷冲	冷作模具钢、铸钢
发动机	气缸体	铸铁、铝合金	铸造、压铸	热作模具钢
	气缸盖	铝合金	压铸	热作模具钢
	发动机气门	耐热钢	热锻	热作模具钢
	连杆	碳素钢、非调质钢	热锻	热作模具钢
	曲轴	碳素钢、非调质钢	热锻	热作模具钢
变速器	齿轮	表面淬火钢	热锻、机械加工 冷锻	热作模具钢
	轴			超硬合金、冷作模具钢、高速工具钢
驱动部件	等速万向节	碳素钢、表面淬火钢	冷锻、温锻、热锻	热作模具钢、高速工具钢
	转向节	碳素钢、合金钢	热锻	热作模具钢
车窗玻璃		玻璃、塑料	压制	高硬度不锈钢
前照灯		塑料	注射成形	塑料模具钢
内外饰件	仪表盘、保险杠	塑料	注射成形	塑料模具钢
轮毂		普通钢	冷压	冷作模具钢、铸钢
		铝合金	低压铸造	热作模具钢

变速装置及差速器关联的齿轮和轴，一般用表面淬火钢经机械加工制成，不过有时也采用冷锻成形。等速万向节为锻件，且冷锻、温锻、热锻都会用到。汽车保险杠、前照灯、仪表盘及内外饰件等是用塑料经注射成形进行生产的。依此类推，各种零部件正是通过模具成形来实现大批量生产的。

与汽车类似，在我们日常生活中，可以说从早到晚都被家电产品和电子产品包围着。尤其是近几年已逐渐成为必需品的手机、电脑以及电视机等，它们的零部件又是怎样制成的呢？表 1-2 列出了手机、

电脑、电视机零部件的制造方法及其模具材料。其外壳框架大都是由聚碳酸酯等 PC 塑料经注射成形制成的，其中也有使用镁合金和复合材料的零部件。手机按键和计算机的键盘也是塑料制品。

表 1-2 手机、电脑、电视机零部件的制造方法及其模具材料

零 部 件	原 材 料	制 造 方 法	模 具 材 料
手机	机体	注射成形	塑料模具钢
	液晶显示器		
	相机镜头		
	按键		
电脑	机体	注射成形 压铸	塑料模具钢 热作模具钢
	液晶显示器	注射成形	塑料模具钢
	键盘		
电视机	机体	注射成形 压铸	塑料模具钢 热作模具钢
	液晶显示器	注射成形	塑料模具钢

手机的液晶显示器（导光板）是用亚克力（丙烯酸酯）塑料经超镜面模具成形而成的。至于电视机的机体，既有经压铸成形的铝合金制品，也有通过注射成形的塑料制品。另外，被称为电脑媒体的 CD 和 DVD 等产品的主要零部件，也是利用超镜面模具将塑料成形而制成的。

此外，汽车内部安装的一些箱盖、小齿轮及插接器等，许多也是塑料制品。

以汽车、家电产品及电子产品为例，对其成形方法进行分析后可以发现，除了一部分是靠机械加工的以外，大部分是靠模具成形制成的。

除此之外，日常生活中我们经常接触到的产品，其大多数的生产过程也同样离不开模具。当然，我们使用的东西肯定已经是最终产品，而用于生产产品的模具，以及用于制造模具的材料，才是真正的