

出版说明

工业设计是在人类社会文明高度发展过程中，伴随着大工业生产的技术、艺术和经济相结合的产物。

工业设计从 William Morris 发起的“工艺美术运动”算起，经过 Bauhaus 的设计革命到现在，已有百余年的历史。世界各先进工业国家，普遍重视工业设计，因此极大地推动了工业和经济的发展与社会生活水平的提高。尤其是近几十年来，工业设计已远远超过工业生产活动的范围，并形成一种文化形式。它不仅在市场竞争中起决定性作用，而且对人类社会生活的各个方面产生着巨大的影响。工业设计正在解决人类社会现实的与未来的问题，正在创造、引导人类健康的工作与生活，并直接参与重大社会决策与变革。

工业设计的方法论包括有三个基本问题：技术与艺术的统一；功能与形式的统一；微观与宏观的统一。在设计观念上，传统的“形式追随功能”已由于人的需求日益受到重视，并且由于在设计中能够运用多学科的知识，功能的内涵已经大为扩展，设计更具生命力，更加多样化，日益体现了“形式追随需求”的直接反映生活意义的倾向。人性是人的社会性和自然性的统一，人类在创造“人—社会—自然”的和谐发展中，创造了崭新的生活方式和生存空间。所有这些，都体现出了“以人为核心”的设计价值观。

人才是国力，设计人才创造了设计世界；飞速发展的经济，必然伴有工业设计教育的长足进步。

《工业造型设计》专业教学指导小组成立于 1987 年 10 月。专业教学指导小组的任务之一是：研究专业课教材建设中的方针政策问题，协助主管部门进行教材评优和教材使用评介工作；制订教材建设规划，组织编写、评选教材。根据这一任务，教学指导小组制定了“七五”教材出版规划。在各院校共同努力下，编写了以下教材：《产品造型材料与工艺》（程能林主编）；《人机工程学》（丁玉兰主编）；《视觉传达设计》（曾宪楷主编）；《工业设计史》（何人可编）；《造型基础》（张福昌主编）；《产品造型设计》（高敏主编）；《工业设计方法学》（简召全主编）。

这套教材是以工科院校的工业设计专业为主要对象编写的，也考虑了按艺术类招生学校的教学要求，并由有这方面教学经验的教师担任主编。因此基本上能满足我国现今工业设计教育的要求。本书也可供企业中从事设计工作的人员学习参考。

在本书的编写过程中，我们取长补短、互相交流、团结合作。每位编者都付出了极大的艰辛，按照推荐教材的要求努力在辩证唯物主义

和历史唯物主义思想的指导下，认真贯彻理论与实践相结合的方针，努力提高教材的思想性、科学性、启发性、先进性和适用性，力求反映工业设计的先进水平，提高教材的质量。

本教材的出版，解决了设计教育中急需教材的问题。在“八五”教材规划中，我们还要继续努力，以求进一步扩大教材的品种和提高教材的质量。最后，应当感谢机电部教材编辑室和北京理工大学出版社，在他们的帮助和支持下，这套教材才得以和广大读者见面。

高等工业学校《工业造型设计》
专业教学指导小组组长简召全

再版前言

《产品造型材料与工艺》是根据 1988 年 6 月高等工业学校工业造型设计专业教学指导小组讨论通过的工业设计专业“七五”规划的统编教材，于 1991 年 6 月出版。前后共进行了九次印刷，至 2006 年 3 月，共发行 33 500 册。这说明此书无论从设计专业大纲的要求和内容的编写上都是一本深受高等学校设计学科欢迎的适用教材。但是经过十五年的反复使用，从时间上看，从工业设计专业的教学要求和设计人才的知识结构上看，从设计材料的不断更新上看（新材料、新工艺的出现必然会给设计带来新的形式特征），都跟不上设计专业的形势发展需要，也滞后于设计教学的要求。因此有必要对本书进行部分修订并加以说明。

《产品造型材料与工艺》的内容是按照当时工业设计教学指导组的要求编写的，根据当时限定在工科院校设计专业教学计划和要求，其前续课程还有金属工艺学、电工学、机械设计基础和机械制图等，如今基本上都没有了。而且，目前近 230 所高等院校的设计专业均包含有艺术设计或设计艺术类，以文科为主，文理兼招，除产品设计的方向外，更多的内容涉及以视觉为主的如包装装潢、室内外广告、展示、服装、玩具、动画、环境设计等方向。专业设置的内涵和侧重面，人才知识结构的改变均要求对原有设计材料课程的内容作相应的调整。基于以上种种变化，本书在修订中除保持原有的结构体系外，着重介绍一些设计与人造物质形态的关系，设计与合理选择材料的关系，增加一些设计材料的最基础、最实用的知识，提供一些选材时便于查阅的参考数据或指南，淡化各类材料的专业基础理论和工艺过程，深入浅出，通俗易懂，达到学用一致。由于金属材料和非金属材料加工工艺两章在工业设计教学中是非常重要的部分，但是又属于工程设计的二次物化的内容，在教学中可以根据本校专业的特点和要求作适当选择，不一定作重点介绍。

本书再版时的参编人员有所调整，本书由湖南大学程能林教授主编。第一章、第三章的第一、二节、第六章由程能林教授编写，第二章、第四章由北京理工大学王铁桩教授编写，第三章第三至第七节、第五章由哈尔滨理工大学刘长英教授编写。

限于编者水平，书中不妥和错误之处仍在所难免，诚请广大读者批评指正。

编者

前 言

材料的种类繁多，其用途则极为广泛。材料一直是人类赖以生存和社会得以发展的不可缺少的重要组成部分。设计与材料的关系更是十分密切，二者不可分割。材料通过设计赋予其真正的附加价值；设计也只有通过材料才能实现为人类造福的宗旨。因此，自古以来，在人造物的实践活动中，材料的历史既反映了人类社会的发展史，而它自身也是一部设计史。人类在认识和使用材料的漫长岁月中，无非是将材料的实用性和美学上的吸引力，经过造型设计转变为社会生产和生活中的实际应用，从而改变人们的社会环境、生活方式和文化价值观念；提高人们的生活质量；满足人类物质文明和精神文明的需要；并由此推动着历史的进程。

本书是根据 1988 年 6 月高等工业学校工业造型设计专业教学指导小组讨论通过的《产品造型材料与工艺》教材编写大纲进行编写的。内容分为两部分：第一部分简要介绍产品造型设计中涉及的各种材料，有金属、塑料、陶瓷、玻璃、木材、涂料、胶黏剂等。了解与掌握材料的性能、组成和用途，以及选择材料时如何考虑造型设计的要求，可为选材提供参考依据。这部分内容按造型专业要求，深入浅出，通俗易懂，不过多涉及有关专业理论。第二部分主要介绍金属材料及非金属材料的加工成型工艺，造型材料的表面处理与精饰，学习的目的是与实际的产品造型活动紧密结合，达到学以致用。

本书作为工业造型设计专业的适用教材，它与本专业的其他课程，如《造型设计基础》、《模型制作》、《产品造型设计》等有着密切的关系，在教学过程中应尽可能有机地配合，并通过实际的造型训练和设计加深对本教材的理解。由于各高等学校工业造型设计专业课程设置的要求及侧重面有所不同，对本教材的内容可作适当的调整与选择。

本书由湖南大学程能林教授主编。第一章及第三章第二、三、四节由程能林教授编写；第二、五章由哈尔滨科学技术大学刘长英教授编写；第四章由北京理工大学王铁桩教授编写；第六章及第三章第五节由湖南大学姜柏青教授编写；第三章第一、六节由上海交通大学钱平吉教授编写。全书由重庆大学高敏教授主审。

由于编者水平所限，对于书中不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

1989 年 12 月

目 录

第一章 概论	1
第一节 天然物质形态与人造物质形态	1
第二节 设计的非物质性与物化意识	2
第三节 材料与设计	3
第四节 材料的分类	5
第五节 材料的一般性质	8
第六节 设计材料应具有的特性	11
第七节 材料科学技术的发展	13
思考题	15
第二章 金属材料	16
第一节 金属材料的基本知识	16
第二节 钢铁材料	28
第三节 铝及铝合金	36
第四节 其他金属材料	40
第五节 金属材料在设计中的应用	44
思考题	46
第三章 非金属材料	47
第一节 塑料	47
第二节 高分子复合材料	74
第三节 陶瓷	79
第四节 玻璃	83
第五节 木材	86
第六节 涂料	90
第七节 胶黏剂	103
思考题	109
第四章 金属材料的成型工艺	110
第一节 铸造工艺	110
第二节 压力加工技术	115
第三节 金属与金属的连接	143
思考题	150
第五章 非金属材料的成型工艺	151
第一节 塑料成型加工工艺	151
第二节 木材成型加工工艺	169

第三节	陶瓷成型加工工艺	175
第四节	玻璃成型加工工艺	179
第五节	材料的快速成型技术	183
	思考题	191
第六章	设计材料的表面处理	192
第一节	材料表面处理概述	192
第二节	材料表面预处理	193
第三节	涂饰	199
第四节	镀饰	202
第五节	塑料的喷漆与电镀	204
	思考题	205
	参考文献	206

第四章 金属材料的成型工艺

目前在工业产品生产中，金属材料仍处于首要位置，因此本章在研究金属材料的成型工艺中，是使工业设计师的设计得以快速并可靠实现的一个重要途径。为此，本章将对金属材料的铸造和压力加工这两种主要的工业产品外型零件的成型方法给予较详细的介绍。

本章学习的重点是金属材料的精密铸造和冷冲压加工方法，对金属材料的连接方法也应有一般性了解，因为零件的结构工艺性以及零件成型的工艺方法将直接影响设计的可行性及设计转化为产品的快速性。本章关于这部分内容有较多的举例和数据列表，可供设计时参考。

第一节 铸造工艺

一、铸造的基本概念

把熔化的金属熔液浇注到具有与零件形状相适应的铸型空腔中，待熔液凝固并冷却后获得毛坯或零件的工艺过程称为铸造。

根据铸造中浇注的铸型不同，可分为砂型铸造、金属型铸造、熔模铸造、壳模铸造及磁型铸造等；也可根据铸造工艺方法的不同分为压力铸造、离心铸造及实心铸造等。

二、常用的铸造金属

铸造工艺过程中通常使用的材料主要有铸铁等四种。

1. 铸铁

铸铁是广泛应用的一种以铁-碳-硅为主的多元铁基合金，普通铸铁的化学成分大致为含碳 2.11%~4.0%；含硅 1%~3%；含锰 0.4%~1.5%；含磷 0.01%~0.5%；含硫 0.02%~0.20%。

有些铸铁中，还加入了少量的钼、铜、镍、铬、铝等而成为合金铸铁，以增加铸铁的耐酸、耐热及无磁性等特殊性能。

铸铁中的碳主要以游离状石墨存在，由于游离石墨的力学强度低而形成力学的空洞作用，因此会造成铸铁的脆性。但石墨的存在却能改善铸铁的耐磨性、抗振性及加工工艺性等，并铸铁价格较低，且制造工艺简便。常用的铸铁型号为 HT200。

2. 铸钢

常用的铸钢其型号为 ZG230-450，ZG270-500 等。

3. 铸铝

铸造铝合金在工业生产中使用极为广泛。铸造铝合金其铸造性能良好，重量也较小，外观质量也佳，且有适当的机械强度；与铸铁、铸钢相比较，铸铝制件的外观装饰效果最佳。常用的铸铝主要有：

① 铝-硅合金，其型号有 ZL101，ZL102…ZL110 等；

② 铝-铜合金，其型号有 ZL201，ZL202，ZL203 等；

③ 铝-镁合金，其型号有 ZL301，ZL302 等；

④ 铝-锌合金，其型号有 ZL401，ZL402 等。

以上型号铸铝中以 ZL101 和 ZL110 用的最为普遍。

4. 铸铜

铸铜是很多工艺制品的原材料，铸铜件通过表面处理后可仿制成各式各样的古代工艺品；铸铜在现代工业生产中也有着广泛的用途。通常使用的铸铜有铸造黄铜，其型号为 ZCuZn16Si4，ZCuZn40Mn，ZCuZn38 等，还有铸造青铜，其型号为 ZCuSn10Zn2，ZCuSn10P1 等。

三、铸造工艺过程

在工业产品生产中，使用较多的为熔模铸造和压力铸造。

1. 熔模铸造工艺

熔模铸造又称为精密铸造或失蜡铸造。公元前数百年，我国已使用蜡和牛油制作模型，复以黏土，熔去模型而得到型腔，用以铸造各种造型精美、带有花纹和文字的钟鼎和器皿，这种方法就是近代熔模铸造的前身。当今的一些艺术珍品，就是用此法制成的。而熔模铸造广泛地应用于工业产品生产上，却是自 20 世纪 40 年代才开始的。

熔模铸造的实质是用易熔材料制成模型，在模型表面涂挂耐火涂料后硬化，反复多次，并将模型熔出，焙烧硬壳，即可得到无分型面的铸型。用这种铸型浇铸后即可获得尺寸准确和表面光洁的铸件。

熔模铸造可适用于各种各样的金属铸造，但是限于壳型的强度，在一般熔模铸造的工业产品中，重量都小于 25 kg，而尺寸精度可达 10~14 级。熔模铸造工艺过程如图 4-1 所示。

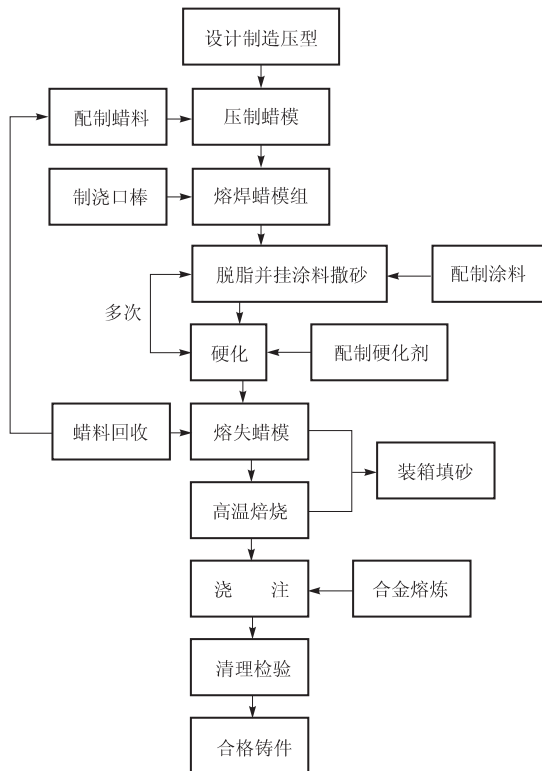


图 4-1 熔模铸造工艺过程

(1) 压型

压型是制造蜡模的特殊铸型。压型设计应结构合理，使用方便。对精度要求高，批量大的铸件，压型用碳钢、铝合金经机械加工制成，必要时镀铬抛光。批量不大、精度要求不高的铸件，或形状复杂、机械加工困难的压型，可用易熔合金铸造压型。对试制单件、小批量生产、精度要求不高、或形状复杂、加工困难的压型，可采用石膏和塑料制造。但压型的制造精度，通常总比铸件高 1~3 级。

(2) 蜡模和蜡模组

常用的制模材料是由 50% 石蜡 (C_nH_{2n+2}) 和 50% 硬脂酸 ($C_{17}H_{35}COOH$) 配成。此模料流动性好，表面光洁，灰分少，但较软，易变形，并受冷易开裂。

为提高生产率及合金利用率，常将多个蜡模熔焊在同一个蜡制的浇注系统上，组成蜡模组，以备制壳之用。

如铸件中部空腔取模困难，可将蜡模分块制造后熔焊成整体。或用尿素 [$CO(NH_2)_2$] 作成型芯，放入压型后再压制蜡模，然后再将蜡模放入水中，除去型芯 [$CO(NH_2)_2$] + $H_2O \rightarrow CO_2 + 2NH_3$ 而制成具有复杂内腔的整体蜡模。

(3) 涂料和型壳硬化

涂料是耐火材料和黏结剂配制成的悬浮液，有面层涂料和加固层涂料之分，其中面层涂料要求较高的耐火性和化学稳定性。常用的耐火材料有石英 (SiO_2)、电刚玉 (Al_2O_3) 等。常用的黏结剂有水玻璃 ($Na_2O \cdot mSiO_2$) 和硅酸乙酯 [$(C_2H_5O)_6SiO_2 + (C_2H_5O)_8SiO_2 + \dots$] 等。使用较普遍的是水玻璃耐火涂料，其成分如表 4-1 所列。

表 4-1 水玻璃耐火涂料成分和用途

配方 (以水玻璃用量为 1 的比例数)				用途
水玻璃	石英粉	粘土粉	长石粉	
1	1.05 ~ 1.15			1. 低强度型壳各层均可用 2. 高强度型壳作一、二层用
1	0.48 ~ 0.62	0.31 ~ 0.48	0.1 ~ 0.18	用于高强度型壳第二层以后各加固层使用
1	0.5 ~ 0.6	0.3 ~ 0.6		
注：高强度型壳，是在涂料配方中加入粘土粉、长石粉用来提高型壳强度，该型壳不需要装箱填砂，直接焙烧后即可浇注。				

蜡模挂涂料，撒石英砂以后，应进行硬化。常用的硬化剂有氯化氨 (NH_4Cl)、聚氯化铝—— $[Al_2(CH)_n \cdot Cl_{6-n}]_m$ 等。氯化氨具有工艺性能好，材料来源广等优点，但由于析出氨气，有害人体，并腐蚀设备。用聚氯化铝不但可克服氯化氨的上述缺点，还能提高型壳的强度，但其制备较困难。

(4) 熔模铸件的结构工艺性

由于铸造工艺的限制，铸件应尽量各处的壁厚均匀，太厚处可用设孔的方法改进。熔模铸造可用来制造厚度仅为 0.3 mm 的薄铸件，最小的质量只有 10 克，最小孔径可仅有 1.5 毫米。但注意未开口式的薄铸件可先用筋板连接，以防止张开变形。

在熔模铸造的基础上，目前又发展了实型铸造。所谓实型铸造，是用可发性聚苯乙烯珠粒，在压型中发泡成型或是用机械加工成型，形状复杂的则可分别加工后粘合到一起，涂上涂料后，放入砂箱或磁丸造型箱，不用取出模型，

直接浇注金属液体，通过聚苯乙烯气化而获得铸件。实型铸造在工业设计专业试制产品中是有重要意义的。

2. 压力铸造工艺

压力铸造简称为压铸。压铸是在高压（5~150 MPa）作用下，将液态合金高速（50~100 m/s）压入高精度的型腔内，并在压力下迅速凝固而获得铸件的方法。

压铸是一种先进的铸造方法，压铸生产效率高，易于实现生产自动化，平均每小时可生产零件 50~250 件，多的可达数千件。压铸零件精度可达 11~13 级，表面粗糙度为 Ra0.4~3.2，机械性能高，可压铸薄壁、带镶嵌件的零件，并能得到清晰度很高的花纹、图案、文字等。压铸件可不用或少用机械加工就能获得满意的外观质量，并可直接用涂料进行表面装饰。

(1) 压型和压铸机

① 压型：压型是指压铸零件所使用的铸型。它是采用优质合金钢为主体材料而制成的，具有优良的强度和耐热性，典型结构如图 4-2 所示。

压型一般由两个主要部分组成，即由固定在压铸机定模座上的固定部分，称为定型；固定在压铸机动模座上的可动部分，称为动型。压型除定型和动型部分外，一般都装有顶出下料机构和抽芯机构，用以自动顶出铸件和抽型芯。由于压型是在高压、高温、高速条件下工作的，所以压型的型腔和型芯部分一般使用 3Cr₂W8V 或 5CrMnMo 等优质合金钢，其余零件可选用优质碳钢。

在压型分型面上一般开有 0.05~0.1 mm，宽 50~20 mm 的通气槽，死角地方开通气塞，以防止铸件上产生气泡。

② 压铸机：压铸使用的设备称为压铸机。压铸机按压室的特征可分为热压室压铸机和冷压室压铸机两种类型。

图 4-3 所示为热压室活塞式压铸机的工作原理。这类压铸机生产效率高，金属消耗少，但压室和冲头长期在合金液体中工作，影响寿命。该压铸机一般压射比压较低，多用于低熔点合金材料的压铸。我国生产和使用较多的是 25 t 的 JZ213 型压铸机。

冷压室压铸机，按压力传递方向可分为立式和卧式两种。其工作原理如图 4-4、图 4-5 所示。

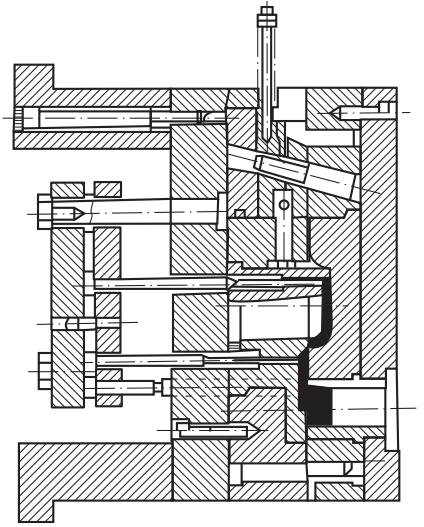


图 4-2 压型的典型结构

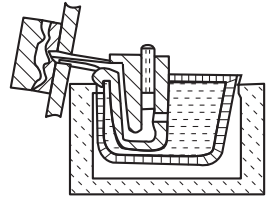


图 4-3 热压室活塞式压铸机的工作原理

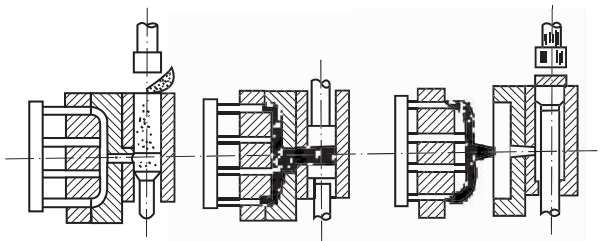


图 4-4 立式冷压室活塞式压铸机工作原理

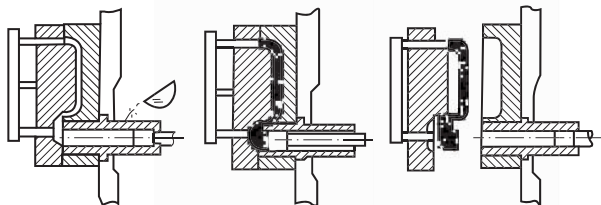


图 4-5 卧式冷压室活塞式压铸机工作原理

与热压室压铸机相比，冷压室压射比压大，（热压室压铸机为气动、冷压室为液压传动），所以能适合铝、镁、锌、铜多种合金的铸造。

我国生产和使用的压铸机以卧式冷压室压铸机为多，此压铸机从 6 吨 (J116) 至 630 吨 (J1163) 有多种型号和规格，可供选用。

(2) 压铸工艺及压铸件的结构工艺性

压铸是在数千 N/cm² 的压力下，以 5~50 m/s 的流速将液态或半液态金属压入金属型中，并在压力下凝固而获得铸件的一种铸造方法。

压铸工艺过程一般由合型、压射、开型及顶出铸件四个工序组成。压铸过程由压铸机自动完成。目前使用的压铸机一般都使用液压驱动。压铸机的规格都是以型号尾数乘以 10 表示压铸机的合模力的。压铸件（包括浇注系统）在分型面上的正投射面积，应小于压铸机额定投影面积。常用下式核算。

$$0.85P \geq F_p = S$$

式中 P ——压铸机最大合模力，(t)；

F ——铸件（包括浇注系统）在分型面上的投影面积，(cm²)；

P ——比压，(kN/cm²)；

S ——模具反压力，(t)；

0.85——安全系数。

应当注意的是，压铸件是在金属压型和型芯共同作用下成型的，为此，设计零件时应使压型制作方便，型芯易于取出；压铸零件壁厚但结构致密性好，强度和耐磨性好，一般厚度在 0.5~3.5 mm 之间为宜。反之，厚壁结构则会导致其机械性能下降。

压铸件上可直接铸出螺纹、小孔或齿形。但牙形应为平头，一般不能铸内螺纹。压铸齿轮的最小模数、螺纹和小孔的尺寸如表 4-2 所列。

表 4-2 压铸孔、螺纹孔、齿的基本参数

项 目 合 金 种 类	孔			螺 纹		齿		
	直径最小极限 d/mm	孔的最大深度 (倍数)		最小 螺距 s /mm	最小 外径 /mm	最大 长度	模数	精度
		实际工作 采用值	盲孔					
锌合金	1.0	$4d$	$8d$	0.75	6	$8s$	0.3	7
铝合金	2.5	$d > 5$ 取 $4d$ $d < 5$ 取 $3d$	$d > 5$ 取 $7d$ $d < 5$ 取 $5d$	0.75	8	$6s$	0.5	7
铜合金	3.0	$d > 5$ 取 $3d$ $d < 5$ 取 $2d$	$d > 5$ 取 $6d$ $d < 5$ 取 $4d$	1	12	$6s$	1.5	7

压铸加工可采用镶嵌件用以满足某些部件的特殊要求、又可代替了部分装配。但应注意一般在镶嵌件与压铸件连接部分上应作出滚花，或凹凸，以防止松动而滑出。

除上述两种铸造方法外，还有砂型铸造、金属型铸造、离心铸造及陶瓷型

铸造等，它们也都各具特点。

第二节 压力加工技术

一、压力加工技术在工业生产中的作用

工业生产是从满足人们对产品的使用功能的要求开始，现今已发展到要求产品的功能性与美观性达到高度的协调与统一。在当今追求商品综合性能的生产过程中，压力加工技术正以其生产效率高，产品质量好、重量轻及成本低的特点，始终在工业部门中占有极其重要的地位。

在一般工业产品的生产过程中，就零件的成型方式而言，冲压件在数量上常占到 30% 以上。至于较复杂的产品，如汽车和飞机等，其中冲压件常高于 65%。在产品的外观造型上和人们的操作部位中，冲压件的比例则更大，并冲压件的好坏常直接影响着整个产品的使用质量，因此冲压技术日益得到设计师的重视。

影响冲压件质量的因素很多，其中冲压材料、冲压模具及冲压设备则是诸因素中三个最主要的因素，本节将有重点的对这三个因素进行介绍和分析。

二、冲压材料

目前我国工业产品中的外观零件或人机部件绝大多数使用的材料是金属板料或为塑料制品。对于冲压而成的各种产品零件，生产实践证明，能否将板料冲压成质量合格的零件，在很大程度上取决于金属板材质量的优劣。冲压加工与金属切削加工相比较，材料质量好坏的影响较为显著，也即冲压工艺在一定程度上是以冲压材料为基础的。

冲压板材质量的优劣一般是以冲压特性、化学成分、金相组织、厚度公差及表面质量这五个主要方面来衡量的。这五个方面性能的优劣将对加工生产冲压件具有很大的影响。当然，这并非是说，上述五个方面指标都要越严越好，具体的零件结构和使用条件，会提出不同的性能要求，因为不同的性能要求也将会对产品的价格产生很大的影响。作为一名工业设计师，要想选择好产品的材料，对这五方面性能应有所了解。

1. 冲压性质、化学成分和金相组织的影响

冷冲压是以金属的塑性变形为基础的加工方法。材料的冲压性能主要指塑性。对于变形过程中如压弯、拉延、成型、翻边等一般要求较低的屈服极限 σ_s ，目的是减小材料在冲压后的弹性变形（回弹）。而对于分离工序，为了获得良好的剪截面反而希望 σ_s 稍高一些。一般情况下不同结构的冲压件对材料的要求如表 4-3 所列。

对于变形复杂的过程（如深拉延或拉延和翻边成型的复合工序）则对材料性能有更多、更严的要求。概括地讲，以下几项指标基本上代表钢板好的冲压性能：

延伸率不小于 40%；

硬度不大小 45HRB；

σ_s/σ_B 比值（屈强比）不大于 0.65；

顶压深度符合规定的范围（根据板材厚度的不同值不同）；

晶粒度 6~7 级；

表 4-3 冲压件的结构与材料

冲压件类别	强度 $\sigma_b/10$ MPa	延伸率 $\delta/\%$	硬 度 HRB
平板件的冲压	≤ 65	$\geq 1 \sim 5$	$\leq 84 \sim 96$
冲截大圆角半径作 90° 垂直于轧纹方向简单弯曲	≤ 50	$\geq 4 \sim 14$	$\leq 75 \sim 85$
浅拉伸和成型, 以圆角半径 $R \geq 0.5 t$ 作 180° 的垂直轧纹方向, 或 90° 平行轧纹方向弯曲	≤ 42	$\geq 13 \sim 27$	$\leq 64 \sim 74$
深拉伸 (允许有滑移线) 以圆角半径 $r \geq 0.5 t$ 作任何方向的 180° 的弯曲	≤ 37	$\geq 24 \sim 36$	$\leq 52 \sim 64$
深拉伸 (有不大的滑移线)	≤ 33	$\geq 33 \sim 45$	$\leq 38 \sim 52$

此外, 对某些更高级的冷轧板, 除上述指标外, 还有塑性变形比值 R (厚变形比, 代表宽度方向性变形指标, 即抗变薄能力系数) 和加工硬化能力指数 n 两个指标。

总的讲, 降低 σ_s 和 σ_s/σ_B , 提高 δ 、 R 和 n , 是提高钢板在拉伸过程中冲压性能的趋势。

当材料质量不能保证冲压性能的要求时, 例如以低级性能的材料代替高级性能的, 将冲制不出好的冲压件, 或者会大量产生废品 (拉裂或出现皱纹)。例如, 长春汽车制造厂在冲压解放牌汽车翼子板时, 使用规定的最复杂深冲 (ZF) 级钢板冲压制品, 一般废品率不超过 1%, 而换用 F 级或 S 级钢板代替, 则废品率增至 10%~30%。当然, 冲压工艺过程中合理的冲压润滑, 调整压料力, 以及局部退火等措施也能改善冲压性能, 但根本的方法, 还是从材料的冶炼和轧制上提高冲压性能。

钢板的机械性能、冲压性能均与其化学成分, 结晶组织、轧制方式及热处理工艺有关。如钢中的碳、硅、锰、磷、硫等元素的含量增加, 就会使材料的塑性降低, 脆性增加, 导致材料的冲压性能变坏。正因为此, 一般含碳量在 0.05%~0.15% 的低碳钢都具有较好的拉伸性能。

一般低碳沸腾钢容易产生时效现象, 即拉伸成形时出现滑移线。铝或钒脱氧的镇静钢, 有时由于在退火和轧制中的问题 (如不严格执行热处理规范和压下量规定) 而使钢板出现明显的屈服平台 (即滑移线)。这对于工业产品外型零件来说是不允许的, 即使涂漆后也遮盖不住外观缺陷。

拉伸性能好的钢板具有晶粒大小均匀的纤维组织。晶粒大小不均匀最易引起裂纹。冲压工艺要求深拉伸用冷轧薄板的晶粒度为 6~8 级; 中板的晶粒度为 5~7 级。过大的晶粒使钢板性能不良, 拉伸时产生粗糙表面 (橘皮现象), 而过小的晶粒则使钢板的塑性降低, 更由于在变形过程中的冷却硬化作用, 使材料的硬度、强度显著增加, 造成冲压件开裂、回弹、扭曲及起皱等。

钢板的轧制方式 (冷轧、热轧、连轧、单坯轧制) 对冲压工艺有很大的影响。对低碳薄钢板来说, 只有冷轧方式才能保证钢板有良好的冲压性能、高度光洁的表面质量和严格的厚度公差。连轧比单坯轧制使钢板具有更显著的方向性 (异质性)。方向异性的钢板一般沿纵向才有较好的冲压

性能。

钢板内部的主要缺陷乃是在轧制之后残留的带状组织。一般只能允许带状组织在 1~2 级范围内。

游离碳化物与非金属夹杂物，是炼钢时残留在铁素体晶粒之间的细小脆硬结晶体，这对材料在冲压过程中的塑性变形也是不利的。

2. 钢板公差精度和表面状况的影响

钢板的厚度偏差过大和表面质量较差时，会造成冲压工艺的不稳定和大量的产生废品。

(1) 材料的厚薄直接影响着冲压回弹和成型圆角半径大小

例如在压弯成型时，由于厚度的变化使冲模间隙过小会引起事故和损坏冲模；间隙过大则产生的喇叭口公差会更大，以致造成装配上的困难。

(2) 材料厚度不稳定，对拉伸工序会导致不良结果

因为拉伸工序数目的确定，一般以拉伸系数 $m=d/D$ 或拉伸程度 $B=D/d$ (D 为毛坯直径， d 为拉伸后直径) 之数值为依据，决定 m 或 B 的值的主要因素是拉伸方式 (如压料拉伸、不压料拉伸、单动拉伸、双动拉伸)、材料厚度及钢板轧制质量等。而拉伸方式又是以材料相对厚度 t/D (t 为材料厚度) 的比值为参考依据的。 t/D 愈大时，变形容易，拉伸情况越好，有采用较小拉伸系数或较大拉伸程度的可能。在同样的制件和同样的毛坯轮廓尺寸条件下，由于材料厚度的不同就会产生不同的结果。

(3) 材料厚度的影响

在冲裁 (落料、冲孔、剪裁等) 工序中，一般是根据材料厚度及不同工序的要求来确定冲模间隙的。在材料牌号、冲模间隙均为定值的情况下，由于厚度偏差过大对产品带来的不良后果是相当大的。特别在同一张钢板上厚度不均偏差过大时，不利因素就更难消除。

(4) 材料厚度不稳定对制件平度的影响是显著的

在机械压力机上进行的压弯、成型、翻边及校平等工序，对材料厚度公差提出较严格的要求。因为机械压力机滑块的行程是固定的，在同样的调整条件下，冲压偏厚的材料合适时，再冲压偏薄的材料就会出现“压不实”的现象，造成制件不平。反之，如根据偏薄的材料来调整，当冲压厚的材料时可能使设备超负荷，甚至使制件孔位、孔径、尺寸和形状发生变化而不符合精度要求。因此，厚度公差的大小是钢板轧制精度的主要标志。

钢板表面状况也是影响工艺稳定的因素之一。根据产品质量和冲压工艺的要求，一般钢板表面应光滑洁净，不应有气泡、裂纹、结疤、缩孔、分层等表面缺陷。以高级精整的钢板甚至连轻微的麻点、划痕等表面缺陷也不应存在，氧化皮和铁锈更是不利于冲压的因素。材料表面如有上述缺陷，在冲压变形过程中，缺陷部位可能首先扩大裂痕，由于应力集中甚至使这些部位断裂而造成废品。表面粗糙的钢板，在拉伸、压弯、成型时，使冲模与钢板之间的摩擦力增加，润滑效果降低，增加破裂的可能性，加速冲模的磨损，缩短模具的寿命，从而增加了零件的成本。

钢板的外型不平，出现瓢曲时会影响剪切质量和操作安全。瓢曲不平的毛坯在冲压时定位不稳，易使制件产生缺角、缺边、切斜等缺陷。甚至造成制件的开裂和起皱。

各种有色金属板材在冲压时也有上述类似的情况，不再一一赘述。

3. 选择材料的原则

冲压材料与产品工艺、产品产量、产品结构有着密切的关系，因此冲压材料的合理选择，将对产品的质量、成本、工艺产生很大的影响。为此，在材料选择时，应注意下述几个方面的问题：

① 必须从产品设计和冲压工艺两个方面共同考虑选用最适当的材料，并对材料提出统一的技术要求。

② 从产品大批量、高效率出发，保证冲压工艺的顺利进行，应对材料提出严格的要求。应保证材料符合工艺标准。

③ 在保证工艺的前提下，应尽量以廉价材料代替贵重材料，以薄料代替厚料，以黑色金属代替有色金属，这样，可使占制件成本 60%~80%的材料费用大大下降，以利提高产品的市场竞争能力。

④ 设计零件的外廓尺寸尽量考虑板材的尺寸规格标准，使毛坯排样时，废料浪费最少。反之，选择板料尺寸时，应考虑尽量为毛坯尺寸的整数倍为好。

4. 常用冲压板材的规格尺寸、分类、性能及用途

工业产品大量使用的黑色金属板材是 4 mm 厚度以下的薄板材。薄板材按尺寸规格可分为钢板和钢带。钢板又可分为热轧钢板和冷轧钢板，热轧和冷轧钢板的尺寸规格如表 4-4、表 4-5 所列。

表 4-4 热轧薄钢板品种 (GB/T 710—1991)

mm

厚 度	宽 度												
	500	600	710	750	800	850	900	950	1 000	1 100	1 250	1 400	1 500
	长 度												
0.35, 0.40		1 200		1 000									
0.45, 0.5	1 000	1 500	1 000	1 500	1 500		1 500	1 500					
0.55, 0.6	1 500	1 800	1 420	1 800	1 600	1 700	1 800	1 900	1 500				
0.7, 0.75	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000				
0.8, 0.9				1 500	1 500	1 500	1 500	1 500					
	1 000	1 200	1 420	1 800	1 600	1 700	1 800	1 900	1 500				
	1 500	1 420	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000				
1.0, 1.1				1 000			1 000						
1.2, 1.25	1 000	1 200	1 000	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500					
1.4, 1.5	1 500	1 420	1 420	1 800	1 600	1 700	1 800	1 900	1 500				
1.6, 1.8	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000				
2.0, 2.2							1 000						
2.5, 2.8	500	600	1 000	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	2 200	2 500	2 800	
	1 000	1 200	1 420	1 800	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000	3 000	3 000	3 000	3 000
	1 500	1 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	3 000	4 000	4 000	4 000	4 000
3.0, 3.2				1 000			1 000					2 800	
3.0, 3.8	500	600	1 420	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500	2 000	2 200	2 500	3 000	3 000
4.0,	1 000	1 200	2 000	1 800	1 600	1 700	1 800	1 900	3 000	3 000	3 000	3 500	3 500
				2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	4 000	4 000	4 000	4 000

表 4-5 冷轧薄钢板品种 (GB/T 13237—1991)

mm

厚 度	宽 度												
	500	600	710	750	800	850	900	950	1 000	1 100	1 250	1 400	1 500
	长 度												
0.2, 0.25		1 200	1 420	1 500	1 500	1 500							
0.3, 0.4	1 000	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 500		1 500				
	1 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	1 800		2 000				
0.5, 0.55		1 200	1 420	1 500	1 500	1 500							
0.6	1 000	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 500		1 500				
	1 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	1 800		2 000				
0.7, 0.75		1 200	1 420	1 500	1 500	1 500							
	1 000	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 500		1 500				
	1 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	1 800		2 000				
0.8, 0.9		1 200	1 420	1 500	1 500	1 500	1 500						
	1 000	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800		1 500	2 000	2 000		
	1 500	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000		2 000	2 200	2 500		
1.0, 1.1	1 000	1 200	1 420	1 500	1 500	1 500						2 800	2 800
1.2, 1.4	1 500	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800			2 000	2 000	3 000	3 000
1.5, 1.6													
1.8, 2.0	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000		2 000	2 200	2 500	3 500	3 500
2.2, 2.5	500	600											
2.8, 3.0	1 000	1 200	1 420	1 500	1 500	1 500							
3.2, 3.5	1 500	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800		2 000				
3.8, 4.0	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000							

按用途和性能, 钢板可分为普通碳素结构钢板、优质碳素结构钢板、酸洗薄钢板、深冲压用冷轧薄钢板及其他专用钢板等。

普通碳素结构钢板及低合金结构钢板, 可用于轻工、交通、化工及民用的冷弯性制品的加工。优质碳素钢板除用于机械、交通、建筑的结构件外, 也可作为一般的冲压件。优质碳素结构薄钢板的厚度为 0.2~4 mm, 05F, 08F, 10F, 15 及 20 钢板, 根据化学成分和轧制情况, 又可分为三个拉延级别, 即 P——普通拉延级, S——深拉延级, Z——最深拉延级, 它们的机械性能如表 4-6 所列。

酸洗钢板主要用于冲制器皿、器具机箱等, 厚度由 0.25~2 mm, 根据冲压深度可分为 P, S 两个级别。

用于汽车、拖拉机等深冲压成型部件使用的钢板, 一般用 A108 钢冷轧而成, 根据拉延性能优劣可分为三级, 即 ZF——最复杂拉延级, HF——很复杂拉延级, F——复杂拉延级。

如果对于钢板有较高的强度要求, 可选用 10Mn2A, 12Mn2A, 20CrMnSiA, 25CrMnSiA 等高强度合金结构钢板。

表 4-6 优质碳素结构薄钢板机械性能

钢号	抗拉强度, $\sigma_b / (\text{N} \cdot \text{mm}^{-2})$		伸长率 $\delta / \%$					
			Z	S	P	Z	S	P
	Z	S 和 P	冷轧钢板 热轧钢板					
05F	260 ~ 360	260 ~ 380	340	320	300	300	290	270
08F	280 ~ 370	280 ~ 390	240	320	300	300	290	270
08,08b,10F	280 ~ 400	280 ~ 420	320	300	280	280	270	200
10	300 ~ 420	300 ~ 440	300	290	280	270	260	240
15F	320 ~ 440	320 ~ 460	290	280	270	270	260	240
15, 20F	340 ~ 440	340 ~ 480	270	260	250	260	250	240
20	360 ~ 500	360 ~ 510	260	250	240	250	240	240
25	(380 ~ 500)	400 ~ 550		240	230		230	220
30	(400 ~ 520)	450 ~ 600		220	210		210	200
35	(420 ~ 540)	500 ~ 650		200	190		190	180
40	(440 ~ 560)	520 ~ 670			180			170
45	(460 ~ 580)	550 ~ 700			160			150
50	(480 ~ 600)	550 ~ 730			140			130

注: ① 厚度 < 2 mm 的钢板, 其伸长率允许比本表规定降低 1% (绝对值);
 ② 厚度 > 2 mm 的和不经热处理交货的普通拉延级别 (P) 的钢板根据需方要求可进行机械性能试验;
 ③ 正火状态下交货的钢板, 其他要求符合本表规定时, 抗拉强度允许比本表上限规定提高 50 N/mm²;
 ④ 25 ~ 50 号钢的抗拉强度, 是退火呈球状珠光体时的, 因此加了括号。

除上述通用性较强的钢板外, 还有专用钢板, 如搪瓷专用钢板, 油桶专用钢板等, 它们的尺寸规格合理, 物美价廉, 在选用时, 应查阅有关材料手册, 也可向钢厂提出订货要求。

不锈钢耐热薄钢板, 近年来以飞快的速度进入了工业产品生产的领域。这是以含 Cr 为主的合金钢板。常以铁素体、马氏体或奥氏体三种组织成分供应。冷轧板厚度为 0.5~4 mm, 热轧板厚度为 1~4 mm。均有较好的抗拉强度。

应当指出的是, 不少工厂使用的钢板是由数十米长连轧成的钢板卷材, 其一般宽度为 700~1 500 mm, 厚度为 1.2~6.25 mm, 也有用于各种小工业产品、电讯五金及食品农机小产品的各种镀锌、镀锡、镀铅及涂塑的各种宽度 (小于 300 mm) 的钢带。在设计工业产品时, 应充分了解钢板冲压材料的品种、规格及性能等, 然后加以选择, 以期获得满意的造型效果。

三、冷冲压工艺与设备

冷冲压工艺是产品上外形零件的加工主要手段之一。冷冲压加工中不产生切屑, 生产效率高, 冷冲压件的互换性较强。冷冲压工艺对当今的大批量生产更有效益, 由于产品需频繁的变换造型, 在这种竞争形势下, 采用冷冲压工艺更有其特殊的意义。

20 世纪 70 年代之前, 由于产品数十年一贯制, 并多为公卖公买, 竞争性不强。近 10 年来, 我国的工业产品生产发生了很大的变化, 并大量引进