

中等专业学校教材

金属工艺学

(适用于机械类冷加工专业)

孟广毅等编



国防工业出版社

中 等 专 业 学 校 教 材

金 属 工 艺 学

(适用于机械类冷加工专业)



國防工業出版社

1965

內 容 簡 介

本书共分四篇。第一篇为鋼鐵冶炼，讲述炼鉄和炼鋼的基本方法；第二篇为金屬学基础，論述金屬和合金的性能、成分与內部組織的关系，并介紹了金屬热处理的基础知識；第三篇为金屬材料，介紹了一般常用金屬的性能及应用場合；第四篇为金屬热加工，包括热加工工艺及其特点。

本书可作为中等专业学校机械类冷加工专业的教材，并可供一般工程技术人员参考。

金 屬 工 艺 学

(适用于机械类冷加工专业)

孟 广 毅 等 編

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

人民卫生出版社印刷厂印刷 景山装订厂装订

787×1092¹/₁₆ 印張 10 225 千字

1965年7月第二版 1965年7月第二次印刷 印数：7,001—37,000册

統一书号：K15034·800 定价：(科四) 1.10 元

前 言

本教科书是根据 1963 年在沈阳召开的金属工艺学教材会议所制订的金属工艺学大纲编写的。本书适用于中等专业学校机械类冷加工专业，并可供一般工程技术人员参考。

本书分为钢铁冶炼、金属学基础、金属材料 and 金属热加工等四篇，计二十六章。其中绪言、第 1、2、20 至 22、25、26 章由竺海量同志编写，第 3 至 5、17 至 19 章由孟广毅同志编写，第 6 至 10 章由胡德民同志编写，第 11 至 16 章由胡景云同志编写，第 23、24 章由伍允义同志编写。并由孟世尧、邵恩友、郝敏、陈眷人、陈进等同志在编写时参加了讨论和提供部分初稿。

本书由黄津生（主审）、刘承素和陈天佐等同志负责审查。

本书根据金属工艺学大纲的要求，按照“少而精”和理论联系实际的原则编写。为适应中专教学特点，每章之前都有学习要求，多数章之后有小结。在文字叙述方面，力求简明易懂，以利学生阅读。

目 录

前言	3
緒言	9

第一篇 鋼 鉄 冶 炼

第一章 炼鉄	11
§ 1 炼鉄的原料	11
§ 2 炼鉄的基本过程	12
§ 3 高炉的主要产品——生鉄	12
第二章 炼鋼	13
§ 1 炼鋼炉	13
§ 2 炼鋼的基本过程	14
§ 3 轉炉、平炉、电弧炉鋼的质量	15
§ 4 鋼錠的缺陷	16

第二篇 金屬学基础

第三章 金屬的机械性能及其試驗方法	17
§ 1 金屬的机械性能	17
§ 2 金屬机械性能的試驗方法	18
第四章 金屬的晶体結構及其結晶	25
§ 1 金屬晶体結構的特点	25
§ 2 金屬的結晶过程	26
§ 3 純金屬結晶过程的測定——冷却曲綫的繪制	27
§ 4 同素异晶轉变	28
§ 5 研究金屬組織的基本方法	29
第五章 金屬的塑性变形与再結晶	29
§ 1 金屬的塑性变形——滑移的概念	30
§ 2 塑性变形对金屬結構和性能的影响——加工硬化現象	30
§ 3 变形金屬的再結晶	31
§ 4 金屬的冷压力加工与热压力加工的概念	32
第六章 合金結構及二元合金状态图	32
§ 1 合金的基本相及合金的組織	33
§ 2 二元合金状态图	34
§ 3 二元合金状态图与合金性能的关系	38

第七章 铁碳合金状态图	40
§ 1 铁碳合金的基本相	40
§ 2 铁碳合金状态图	41
第八章 钢的热处理理论基础	46
§ 1 钢加热时的转变	46
§ 2 钢冷却时的转变	47
§ 3 马氏体的形成	50
§ 4 马氏体在加热时的转变	51
第九章 钢的热处理工艺	52
§ 1 钢的退火	53
§ 2 钢的正火	55
§ 3 淬火	55
§ 4 淬火钢的回火	58
第十章 钢的表面热处理	60
§ 1 钢的表面淬火	60
§ 2 钢的化学热处理	61

第三篇 金属材料

第十一章 碳素钢	67
§ 1 碳及杂质对钢性能的影响	67
§ 2 碳素钢的分类	68
§ 3 碳素结构钢	68
§ 4 碳素工具钢	70
第十二章 合金钢概述	71
§ 1 合金元素在钢中存在的形式和作用	71
§ 2 合金元素对钢热处理的影响	72
§ 3 合金钢的分类和牌号	73
第十三章 合金结构钢	74
§ 1 合金渗碳钢	75
§ 2 合金调质钢	76
§ 3 合金弹簧钢	78
第十四章 合金工具钢及硬质合金	79
§ 1 合金刀具钢及硬质合金	79
§ 2 合金量具钢	82
§ 3 合金模具钢	83
第十五章 特殊钢及特殊合金	84
§ 1 不锈钢	84
§ 2 耐热钢和耐热合金	85
§ 3 耐磨钢	87
第十六章 铸铁	87
§ 1 灰口铸铁	87

§ 2 球墨鑄鐵和可鍛鑄鐵	90
§ 3 合金鑄鐵	91
第十七章 鋁及鋁合金	91
§ 1 鋁的性能和用途	91
§ 2 鋁合金的 分 类	91
§ 3 鋁合金的熱處 理	92
§ 4 壓力加工鋁合 金	93
§ 5 鑄造鋁合 金	95
第十八章 鎂及鎂合金	96
§ 1 鎂的性能和用途	96
§ 2 鎂合 金	96
第十九章 鈦及鈦合金	98
§ 1 鈦的性能和用途	99
§ 2 鈦合 金	99
第二十章 銅及銅合金	101
§ 1 純銅	101
§ 2 黃銅	101
§ 3 青銅	102
第二十一章 滑動軸承合金	105
§ 1 對滑動軸承合金的性能要求	105
§ 2 常用滑動軸承合金的特性和應用範圍	105
第二十二章 金屬的表面防護	106
§ 1 金屬表面防護的一般知識	107
§ 2 鋼制件的表面防護法	107
§ 3 鋁合金和鎂合金的表面防護法	108

第四篇 金屬的熱加工

第二十三章 鑄造	111
§ 1 砂型鑄造	111
§ 2 常用鑄造合金的鑄造特點	119
§ 3 鑄件結構的一般概念	121
§ 4 特種鑄造	122
第二十四章 壓力加工	127
§ 1 軋制、冷拔、擠壓	128
§ 2 鍛造	129
§ 3 冷沖壓	140
第二十五章 焊接	142
§ 1 熔焊	142
§ 2 電阻焊	150
§ 3 焊接缺陷	152

§ 4 常用焊接合金的焊接特点	153
§ 5 钎焊	155
§ 6 切割	156
第二十六章 金属的无损探伤	157
§ 1 内部缺陷的探伤	158
§ 2 表面缺陷的探伤	158

緒 言

金屬工艺学是研究金屬的冶炼、性能及其加工方法的科学。本課程对机械类冷加工专业讲授下列內容:

1. **鋼鐵冶炼** 讲述了炼鉄和炼鋼的基本方法。
2. **金屬学基础** 論述了金屬和合金的性能及成分和内部組織的相互关系,并介紹了改善金屬性能的热处理方法的基础知識。
3. **金屬材料** 介紹了常用金屬材料的种类、牌号、成分、性能和使用范围。
4. **金屬的热加工** 讲述了鑄造、压力加工和焊接的实质、基本工艺、特点和应用范围。

金屬工艺学所讲授的內容很广,它与机械制造工艺过程是密切相关的。学习金屬工艺学課程的目的是使我們获得常用金屬材料的性能、用途以及常用的热处理、热加工方法的基本知識,它是进一步学习专业課和今后工作所必需的。例如一台飞机发动机的多数零件(如机匣、发动机軸、傳动齒輪等)都是在高載荷、高温度和外界介质的浸蝕作用下工作的。因而需要选用不同性能的金屬材料,零件的毛坯多用鍛造、鑄造或焊接的方法制成,而且大都經過热处理,以滿足工作的需要。

科学技术都是在历代劳动人民实践經驗积累的基础上逐步发展起来的。我国劳动人民自古以来在金屬工艺的发展史上就有着偉大的貢獻。根据历史記載和历史文物的証明,距今三千年前,我国人民已掌握了純銅、純錫和純鉛的冶炼,并能配制青銅等来制造用具。到周、秦时代就已出現了炼鉄工业。我国使用金屬以及冶炼技术要比欧洲早得多,古书上有許多关于鍛、鑄和热处理技术的記載。如明朝末期宋应星著“天工开物”一书中,就有冶炼、鑄、鍛技术、切削加工等比較詳細的工艺記載。这足以說明我国劳动人民历来就是勤劳智慧的。

但是,由于几千年来的封建統治和帝国主义的掠夺,反动統治階級的压榨,使我国的科学技术未能得到充分的发展,长期处于极端落后状态。

解放后在中国共产党和毛主席的领导下,在以农业为基础、以工业为主导的发展国民經济的总方針指导下,按照把整个国民經济建立在自力更生的基础上的要求,我国的工业已欣欣向荣地发展起来。目前我国已經能够自己設計和建設許多大型的現代化的工业企业,包括年产量一百万吨以上的鋼鐵厂等。一九六三年比一九五七年我国生产的鋼、鋼材、有色金屬和机床的品种都增加了一倍以上,其中不少是高級合金鋼。很多大型的和精密的机器設備,过去不能生产的,現在已經能够成套生产了。解放前几乎是空白的汽車、拖拉机、飞机、船舶等工业現在都已經建立起来了。

在机器制造业中,鑄造、压力加工和焊接等生产技术都随着国民經济的发展而迅速发展起来。如长春第一汽車制造厂、洛阳拖拉机制造厂等都有了自动化、机械化的鑄造車間。

鞍鋼、武鋼、包鋼都有了大型軋鋼廠。在船舶工業和航空工業上廣泛應用了先進的焊接技術。目前我國已能自己設計和製造一萬二千噸壓力的水壓機、自動化的鑄造設備和自動電焊機等。

十四年來，我國已經初步建立起獨立自主的鞏固的工業基礎，這為我國實現農業現代化、工業現代化、國防現代化和科學技術現代化創造了有利的條件。

學習時要按照本書各章提出的要求，牢固的掌握基本知識和技能，對一些技術名詞、符號和材料牌號等應當牢記。課程內容具有與生產實際聯系較多的特點，故在學習方法上要結合工廠勞動中所獲得的知識，並配合觀察實物、模型、做好實驗和練習以理解基本概念。

第一篇 鋼 鉄 冶 炼

冶金工业在整个国民经济中有着重要的地位，如机械工业的发展在很大程度上就是依賴鋼鐵工业的。由于鋼鐵比較容易获得，并具有很多良好的性能，所以在近代工业中应用很广泛。

要了解鋼鐵的成分和质量，应首先了解鋼鐵的来源。本篇将簡要地叙述炼鉄和炼鋼的基本过程。

第一章 炼 鉄

要求：1. 了解炼鉄的基本过程。

2. 了解生鉄的成分及其杂质的来源。

除隕石外，純鉄在自然界中是找不到的。鉄特別容易与氧化合，因此鉄矿石多以氧化物的形式存在。鉄矿石中除鉄的氧化物以外，还含有其他元素的氧化物，如 SiO_2 、 MgO 、 Al_2O_3 等，这些都称为廢石。通常廢石中含 SiO_2 較多，故呈酸性。

炼鉄的任务，就是把鉄矿石中的鉄从氧化物中还原出来，并与廢石分离，而炼出生鉄。

炼鉄的原料有：鉄矿石、燃料、熔剂和热空气。

§1 炼鉄的原料

1. 鉄矿石

我国具有丰富的鉄矿资源，矿区遍布全国，其中大的有鞍山、大冶、包头等地，常用的鉄矿石有赤鉄矿和磁鉄矿两种，其含鉄量和特性見下表。

表 1-1

名 称	分 子 式	实际含鉄量	顏 色	特 性
赤 鉄 矿	Fe_2O_3	50~60%	紅棕色	质松，易还原，冶炼方便
磁 鉄 矿	Fe_3O_4	45~70%	灰黑色	有磁性，质坚，細密，較难还原

矿石在冶炼前都必须經過处理，借以提高矿石的含鉄量和使块度合适，以便于熔炼。

2. 燃料

現代炼鉄用焦炭作燃料，因焦炭的强度大，发热量高。燃料可以提供冶炼所必需的热量，以及使氧化鉄还原所需要的还原剂。炼鉄用的焦炭，必須含硫少。

3. 熔剂

由于廢石属于酸性，故用碱性的石灰石作熔剂。熔剂的作用是为了降低渣子的熔点，造成比重較小的炉渣，从而使廢石与鉄水分离。

§2 炼鉄的基本过程

1. 炼鉄高炉

高炉是两端較小、中間較大的圓形豎炉。內用耐火磚砌成，外包鋼板。高炉的构造示意图见图 1-1。

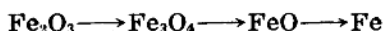
高炉主要由炉缸 1、炉腹 2、炉腰 3、炉身 4、炉喉 5 等部分组成，在炉缸上部有風嘴 6 和風管 7，在風嘴下方有出渣口 8 和靠近炉底外有出鉄口 9，高炉的頂部有排气管 10 和加料設備 11。

高炉的大小是以有效容积来計算的。有效容积是指出鉄口水平面到炉料装滿时的装料綫水平面之間的空間容积。我国巨型高炉的有效容积达 1513 米³。

2. 炼鉄的基本过程

在高炉熔炼过程中，炼鉄的原料从炉頂装入炉內，逐漸下落。热風經風嘴送入炉缸，燃料在炉子下部燃烧，放热并产生高温。燃烧时所生成的 CO₂ 上升后，与赤热的焦炭作用生成了 CO。上升的 CO 又与逐漸下落的炉料相互发生作用，其基本过程如下：

1) 氧化鉄的还原与鉄的增碳 熾热的 CO 气体，与高温下的鉄矿石接触，使氧化鉄逐步还原成鉄。其还原次序为：



还原出来的鉄称为海绵鉄，它与赤热的固体碳相遇，便吸收了一部分碳。当碳渗入鉄中以后，便降低了鉄的熔点，成为鉄碳合金。这种合金在 1200~1300°C 的范围内便熔化滴入炉缸內。

2) 鉄中其他杂质的渗入 鉄矿石中的 SiO₂ 和 MnO，一部分被还原成 Si、Mn，并且进入鉄中。矿石中的磷化物，則几乎全部被还原成磷，并且进入鉄中。矿石和燃料中的硫，一部分以 FeS 的形式进入鉄中，其余大部分 FeS 則进入渣中。

冶炼过程中，廢石、灰分均匀熔剂结合成比重小的炉渣，浮于鉄水表面。炉渣和鉄水分别由出渣口和出鉄口放出。

由上述可知，高炉炼得的鉄并非純鉄，而是生鉄。生鉄是含碳量大于 2%，并含有硅、錳、硫、磷等杂质的鉄碳合金。

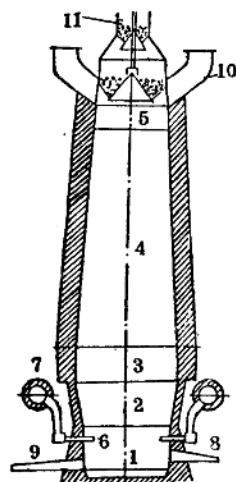


图1-1 高炉构造示意图。

§3 高炉的主要产品——生鉄

高炉主要产品是生鉄，其次还有煤气、炉渣等副产品。生鉄可分下列几种：

1. 鑄造生鉄

生鉄的断面呈灰色，又称灰口鉄。其中含硅量較高，性质較軟，便于鑄造和切削加工，一般鑄成鉄錠作为鑄造車間熔鉄炉（冲天炉）的原料，用以生产鑄鉄件。

2. 炼鋼生鉄

生铁的断口呈白色，又称白口铁，其中含硅量较低，性质硬而脆，切削加工困难，用作炼钢的原料。

3. 特种生铁

这类生铁包括高锰生铁、高硅生铁，用作炼钢的脱氧剂或用来作为熔炼合金钢的附加原料。

高炉的煤气和炉渣都是副产品。煤气可用作燃料；炉渣可制成水泥等建筑材料，还可直接用来修路。

第二章 炼 钢

要求：1. 了解炼钢的基本过程。

2. 了解钢的成分及用不同炼钢法所炼钢的质量。

炼钢的原料主要是炼钢生铁。生铁和钢在化学成分上是不同的，生铁的含碳量与含硅量比钢高得多。生铁含碳量大多在 $2.2 \sim 3.8\%$ ，含硅量约 $0.5 \sim 2.0\%$ ，而钢的含碳量多在 $0.1 \sim 1.3\%$ ，含硅量大多小于 0.35% 。此外钢中的锰、硫、磷等元素的含量一般也比生铁的少。所以要把生铁炼成钢，就必须设法减少生铁中的碳、硅及锰、硫、磷等的含量。减少它们的方法是通过氧化法，把它们氧化成气体逸出或形成氧化物后结成比重小的液态熔渣而除去，使钢中的碳、硅、锰、硫和磷的含量减少到规定的范围内。

§1 炼 钢 炉

1. 转炉

转炉的类型很多，我国多应用侧吹式碱性转炉。它是内砌耐火砖，外包钢板，炉侧有风口的、可以转动的容器，见图 2-1。

转炉的大小，是以每次熔炼时装入铁水的重量表示的，一般为 $3 \sim 15$ 吨，大的可达 60 吨左右。

转炉炼钢，用液态生铁为原料。由侧面风口吹入空气，利用其中的氧使生铁中的杂质氧化，氧化所放出的热量，足够维持熔炼所需的高温，因而不必另加燃料。

2. 平炉

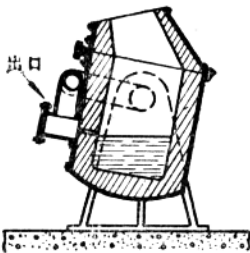


图2-1 侧吹式转炉构造示意图。

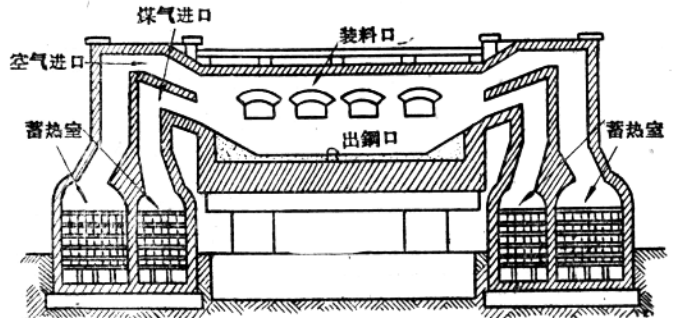


图2-2 平炉构造示意图。

平炉的构造示意图见图 2-2。平炉的熔炼室是用耐火砖砌成的炉顶、炉底和前墙、后墙构成的。前墙上有装料口 3~5 个，后墙上有出钢口，熔炼室两端有煤气通道和空气通道，它们分别和预热煤气及空气用的蓄热室相通。经过预热的煤气和空气，同时由左端或右端送入熔炼室，经一定时间后进行交换。所以平炉炼钢所需要的热量，是依靠经过预热的煤气和空气混合燃烧获得的。

平炉的大小是以每一炉所炼钢的重量表示的，一般容量为 50~220 吨，目前我国最大平炉可达 660 吨。

平炉炼钢的原料可用液体或固体的生铁，还可加入不同比例的废钢。

3. 电弧炉

电弧炉的构造示意图见图 2-3。电弧炉分炉顶、炉墙和炉底三个部分，均由耐火砖砌成，外包钢板。从炉顶可插入三根碳精电极，电极可以上下移动。电弧炉一侧有装料口，另一侧有出钢口。经过变压器降压后的强大电流传至电极上，使电极与金属炉料间引起电弧。电弧炉炼钢就是依靠电弧所产生的热量来熔炼的。

电弧炉的容量一般为 3~20 吨。

电弧炉炼钢的原料多用废钢。

按照砌炉所用的耐火材料不同，各种炼钢炉都有酸性和碱性之分，因此所炼的钢也有酸性炉钢和碱性炉钢的区别。如酸性平炉钢、碱性平炉钢等。

我国应用最多的炼钢炉是碱性侧吹式转炉、碱性平炉和碱性电弧炉。

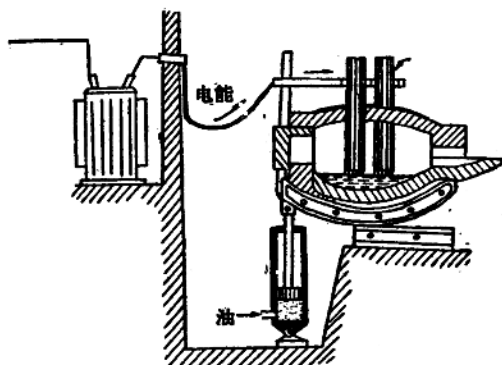


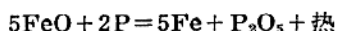
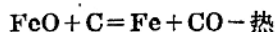
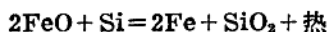
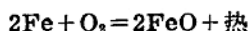
图2-3 电弧炉构造示意图。

§2 炼钢的基本过程

炼钢的基本过程主要包括杂质的氧化、造渣、脱氧和浇注。现以碱性炉炼钢为例分述如下：

1. 杂质的氧化

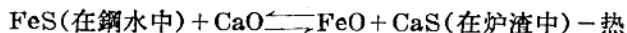
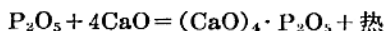
氧化杂质的氧化剂，随炼钢方法不同而不同：如转炉用吹入的空气中的氧，平炉利用炉渣中的 FeO ，电弧炉利用铁矿石。杂质氧化的主要反应如下：



在上述反应所生成的氧化物中，除 CO 会从金属液体中逸出外，其余的氧化物则形成熔渣被除去。

2. 造渣

杂质被氧化所生成的氧化物，或者彼此相互作用（如 SiO_2 与 MnO ），或者与加入的熔剂 CaO 作用生成炉渣，浮在钢水表面以待除去。其中 P_2O_5 、 FeS 的造渣反应如下：



从以上反应可以看出，去硫、磷的条件是要有 CaO 多的碱性渣。而且去硫时还要求渣中的 FeO 少和炉温要高。

电弧炉炼钢，能很好的去硫和磷。尤其以去硫最为彻底，这是由于电弧炉的炉温高，又能造成碱性强的炉渣之故。

3. 脱氧

经过上述过程所得的钢水中，还含有一定量的 FeO ，若不能基本上去尽，则会使钢的质量降低，因而必须进行随后的脱氧处理。

转炉和平炉通常用锰铁、硅铁或铝作脱氧剂，脱氧后所生成的 MnO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 便进入熔渣而被除去。

把脱氧后的钢水，经检验化学成分合格后，便可出钢进行浇注。

§3 转炉、平炉、电弧炉钢的质量

钢的质量好坏，主要决定于所含磷、硫及 FeO 的多少。硫、磷及 FeO 的含量愈高，质量就愈差。

1. 沸腾钢和镇静钢及其质量

脱氧不完全的钢水浇注到钢锭模中时，由于钢水中 FeO 与 C 作用生成 CO 气体，使钢水发生沸腾现象，故称这种钢为沸腾钢。脱氧完全的钢无此现象，故称镇静钢。

转炉炼钢时，由于吹入大量空气，因此钢水中含有较多的 FeO ，一般只用锰铁脱氧，脱氧不彻底，故多用以浇注沸腾钢。

平炉炼钢时由于吹入的为可燃气体，其氧化性比空气要弱，熔炼时火焰又不与钢水直接接触，同时用锰铁、硅铁和铝来脱氧，所以脱氧较完全。一般平炉钢多用以浇注镇静钢。

电弧炉炼钢由于在较密封的炉膛内熔炼，氧化性气体极少，而且用含 FeO 很少的还原性炉渣脱氧，因此脱氧完全，故电弧炉钢全部用以浇注镇静钢。

沸腾钢锭的表面质量好，在钢锭内部存在着大量分散的气泡，呈疏松状态，但钢锭头部不致产生集中的缩孔。这种钢锭轧制时不必切去头部，而且内部的分散气泡通过轧制后也都焊合而不再存在，故钢锭利用率高、成本低。由于这种钢一般含碳量低而塑性好，故多用来拉制钢丝和轧制薄钢板等。但沸腾钢的成分不均匀，而且含有较多的 FeO 。

镇静钢锭中无分散气泡，但钢锭头部有集中缩孔，在轧制前必须切除头部，因而钢锭的利用率低，成本较高。但这种钢的成分均匀、含 FeO 少，因此镇静钢多属于优质钢。

2. 按去硫、磷的好坏比较钢的质量

钢中有害杂质硫、磷的含量，是评定钢质量的重要依据。

电弧炉炼钢能大量去硫、磷，故钢的质量最好，多用来冶炼合金钢、工具钢和特殊钢等。

平炉炼钢去磷较彻底，并能除去部分硫。故钢的质量较好，多用来冶炼优质碳素钢和低合金钢。

转炉炼钢去磷还比较好，但去硫困难。因此钢的质量较低，一般用来冶炼普通碳素钢。

§4 钢锭的缺陷

常见钢锭的缺陷有下列几种：

1. 缩孔

由于金属冷凝时体积收缩，在钢锭内部形成的孔洞称为缩孔。浇注时应设法使缩孔集中在钢锭的上部，以便于切除。

2. 气孔

钢在熔炼时吸收了气体，而冷凝时来不及全部逸出，便留在钢锭内部形成了气孔。这些气体主要是 CO 、 CO_2 、 N_2 和 H_2 等。

3. 夹渣

夹渣是由于脱氧的产物（ SiO_2 、 MnO 、 Al_2O_3 等）有一部分来不及浮出表面而夹杂在钢锭中。

4. 偏析

钢锭中金属成分不均匀的现象称为偏析。磷、硫和碳是偏析最严重的元素。

钢锭中产生的缺陷，虽然可通过各种技术措施来防止，但还会经常出现；因此在使用时，应根据要求对钢锭进行必要的检验。

第一篇的复习题

1. 什么是生铁？说明生铁冶炼的基本过程。
2. 说明钢和生铁在成分上的区别，并说明炼钢的基本过程。
3. 转炉钢、平炉钢、电弧炉钢在质量上有何区别？
4. 什么是沸腾钢和镇静钢？