

高等学校教学用书

金属学实验

馬斯列尼科夫著



机械工业出版社

高等學校教學用書



金屬學實驗

增訂第二版

唐山鐵道學院金相熱處理教研組譯

蘇聯高等教育部審定力高等機械製造學校教材

出版者的話

本書是根据苏联国立机器制造書籍出版社出版的馬斯列尼科夫著的「金屬学实验」一書的增訂版(1955年,第二版)翻譯而成。原書經苏联高等教育部审定为高等机械制造学校以及其他学校进行金屬学实验用的教学参考書。

本書共包括 24 个典型实验,在叙述每一实验时,首先扼要地提出必要的理論知識,然后簡明地叙述进行实验所用的設備和仪器,最后叙述实验的任务和方法的指导。

参加本書譯校工作的有:徐祖耀、陆大紘、許晋功、陶佑卿、賀宗文同志。全書經北京鋼鐵工業学院徐祖耀教授校閱。

苏联 Ф. И. Масленников 著 'Лабораторный практикум по металлосведению' (Машигиз 1955 年增訂第二版)

NO. 1579

1954 年 3 月第一版 1960 年 1 月第二版第八次印刷
850×1168 $\frac{1}{32}$ 字数 200 千字 印張 7 $\frac{15}{16}$ 14,351—15,350 册
机械工業出版社(北京阜成門外百万庄)出版
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.15 元

目 次

原序	5
緒論	7
實驗1 結晶过程的研究及鑄錠的構造	11
1 概說(11)——2 結晶过程的研究(15)——3 任务和方法的指 导(17)	
實驗2 研究金屬宏觀組織的方法(宏觀分析)	19
1 概說(19)——2 宏觀磨片的准备和腐蝕(19)——3 金屬的宏觀組 織(21)——4 金屬的断口(23)——5 任务和方法的指导(26)	
實驗3 研究金屬的X綫法(X綫探伤)	28
1 概說(28)——2 X綫的發生及其本質(28)——3 X綫管(电子管) (29)——4 X綫的吸收(29)——5 X綫設備(30)——6 用透視查出 缺陷的方法(31)——7 任务和方法的指导(33)	
實驗4 根据热分析法作平衡圖的方法	35
1 概說(35)——2 高温計(37)——3 热电偶的刻度(38)——4 热电 偶的类别(41)——5 鉛錫平衡圖的繪制(41)——6 鉛錫系合金的組 織(43)——7 任务和方法的指导(45)	
實驗5 显微組織法研究金屬(显微分析)	46
1 概說(46)——2 显微磨片的制备(46)——3 显微磨片的侵蝕(50) ——4 显微鏡理論的簡單介紹(55)——5 显微鏡研究的实际操作 (61)——6 金屬显微鏡的光学系統(65)——7 显微鏡的操作(68) ——8 电子显微鏡(73)——9 任务和方法的指导(75)	
實驗6 金屬的硬度	77
1 概說(77)——2 布氏硬度測定法(77)——3 洛氏硬度測定法(83) ——4 显微硬度的測定(86)——5 任务和方法的指导(88)	
實驗7 在平衡状态下鉄碳合金的显微分析	90
1 概說(90)——2 鉄(92)——3 亞共析鋼(93)——4 共析鋼和过共 析鋼(95)——5 生鉄(97)——6 任务和方法的指导(103)	
實驗8 碳鋼的热处理	105
1 概說(105)——2 鋼的淬火实际操作(107)——3 馬弗电爐(108)—— 4 接触式檢流計(109)——5 鋼的回火实际操作(111)——6 任务和方 法的指导(111)	

实验9 經热处理及化学热处理后碳鋼的显微分析.....	114
1 概說(114)——2 碳鋼热处理后的組織組成物(114)——3 鋼的正常退火(116)——4 退火时鋼的过热(117)——5 正常淬火(118)——6 淬火时鋼的过热(119)——7 油中淬火(119)——8 不完全淬火(120)——9 回火屈氏体(120)——10 回火索氏体(121)——11 过共析鋼的組織(121)——12 滲碳鋼的組織(122)——13 滲氮鋼的組織(124)——14 任务和方法的指导(126)	
实验10 热处理对鋼的机械性能的影响	128
1 概說(128)——2 ИМ-4P 拉力試驗机(128)——3 戈果陵压力机(130)——4 拉力圖的繪制及比例極限 σ_p 与屈服極限 $\sigma_{0.2}$ 的測定(132)——5 任务和方法的指导(134)	
实验11 回火溫度对鋼冲击韌性的影响	136
1 概說(136)——2 冲击試驗(138)——3 任务和方法的指导(140)	
实验12 拉伸眞应力圖的繪制	142
1 概說(142)——2 第一种繪制圖形的方法(实验法)(144)——3 第二种繪制圖形的方法(繪圖法)(144)——4 任务和方法的指导(146)	
实验13 冷塑性变形对金屬机械性能与組織的影响	147
1 概說(147)——2 拉力試驗用 5 吨万能試驗机(148)——3 强度極限 σ_b 与延伸率 δ 的測定法(151)——4 任务和方法的指导(154)	
实验14 金屬的再結晶	155
1 概說(155)——2 任务和方法的指导(157)	
实验15 鋼的恒温处理	160
1 概說(160)——2 奧氏体恒温变化的C形曲綫圖的作法(161)——3 鋼在恒温处理后的組織(164)——4 任务和方法的指导(166)	
实验16 鋼的淬透性的測定	168
1 概說(168)——2 用測定淬火試样截面硬度来确定淬透性的方法(169)——3 測定淬透性的端部淬火法(170)——4 任务和方法的指导(176)	
实验17 鋼的表面感应淬火法	178
1 概說(178)——2 鋼感应淬火的实际操作(179)——3 任务和方法的指导(182)	
实验18 高速鋼的热处理	183
1 概說(183)——2 高速鋼淬火加热用爐(184)——3 高速鋼的淬火与回火的实际操作(186)——4 任务和方法的指导(186)	
实验19 金屬在高温下的机械性能的研究	188
1 概說(188)——2 高温下金屬的拉力試驗机(190)——3 任务和方法	

的指导(192)

实验20 合金钢的显微分析 194

- 1 概说(194)——2 结构钢(195)——3 工具钢(201)——4 耐热合金和耐热高强度合金(204)——5 不锈钢(208)——6 变压器钢(209)——7 任务和方法的指导(209)

实验21 杜拉铝的热处理 212

- 1 概说(212)——2 杜拉铝热处理的实际操作(214)——3 任务和方法的指导(216)

实验22 铝合金和镁合金的显微分析 218

- 1 概说(218)——2 加工铝合金(218)——3 铸造铝合金(224)——4 镁合金(229)——5 任务和方法的指导(231)

实验23 有色重合金的显微分析 234

- 1 铜及其合金(234)——2 黄铜(235)——3 青铜(236)——4 巴比合金(242)——5 任务和方法的指导(245)

实验24 金属的腐蚀 246

- 1 概说(246)——2 测定腐蚀速度的仪器(腐蚀仪)(250)——3 任务和方法的指导(250)

高等学校教学用书



金属学实验

增订第二版

唐山铁道学院全相热处理教研组译

本书经教育部审定为高等机械制造学校教材

出版者的話

本書是根据苏联国立机器制造書籍出版社出版的馬斯列尼科夫著的「金屬学实验」一書的增訂版(1955年,第二版)翻譯而成。原書經苏联高等教育部审定为高等机械制造学校以及其他学校进行金屬学实验用的教学参考書。

本書共包括 24 个典型实验,在叙述每一实验时,首先扼要地提出必要的理論知識,然后簡明地叙述进行实验所用的設備和仪器,最后叙述实验的任务和方法的指导。

参加本書譯校工作的有:徐祖耀、陆大紘、許晋堃、陶佑卿、賀宗文同志。全書經北京鋼鐵工業学院徐祖耀教授校閱。

苏联 Ф. И. Масленников 著 'Лабораторный практикум по металлловедению' (Машигиз 1955 年增訂第二版)

NO. 1579

1954 年 3 月第一版 1960 年 1 月第二版第八次印刷

850×1168 $\frac{1}{32}$ 字数 200 千字 印張 7 $\frac{15}{16}$ 14,351—15,350 册

机械工業出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.15 元

目 次

原序	5
緒論	7
實驗1 結晶过程的研究及鑄錠的構造	11
1 概說(11)——2 結晶过程的研究(15)——3 任务和方法的指 导(17)	
實驗2 研究金屬宏觀組織的方法(宏觀分析)	19
1 概說(19)——2 宏觀磨片的准备和腐蝕(19)——3 金屬的宏觀組 織(21)——4 金屬的断口(23)——5 任务和方法的指导(26)	
實驗3 研究金屬的X綫法(X綫探伤)	28
1 概說(28)——2 X綫的發生及其本質(28)——3 X綫管(电子管) (29)——4 X綫的吸收(29)——5 X綫設備(30)——6 用透視查出 缺陷的方法(31)——7 任务和方法的指导(33)	
實驗4 根据热分析法作平衡圖的方法	35
1 概說(35)——2 高溫計(37)——3 热电偶的刻度(38)——4 热电 偶的类别(41)——5 鉛錫平衡圖的繪制(41)——6 鉛錫系合金的組 織(43)——7 任务和方法的指导(45)	
實驗5 显微組織法研究金屬(显微分析)	46
1 概說(46)——2 显微磨片的制备(46)——3 显微磨片的侵蝕(50) ——4 显微鏡理論的簡單介紹(55)——5 显微鏡研究的实际操作 (61)——6 金屬显微鏡的光学系統(65)——7 显微鏡的操作(68) ——8 电子显微鏡(73)——9 任务和方法的指导(75)	
實驗6 金屬的硬度	77
1 概說(77)——2 布氏硬度測定法(77)——3 洛氏硬度測定法(83) ——4 显微硬度的測定(86)——5 任务和方法的指导(88)	
實驗7 在平衡状态下鉄碳合金的显微分析	90
1 概說(90)——2 鉄(92)——3 亞共析鋼(93)——4 共析鋼和过共 析鋼(95)——5 生鉄(97)——6 任务和方法的指导(103)	
實驗8 碳鋼的热处理	105
1 概說(105)——2 鋼的淬火实际操作(107)——3 馬弗电爐(108)—— 4 接触式檢流計(109)——5 鋼的回火实际操作(111)——6 任务和方 法的指导(111)	

实验9 經热处理及化学热处理后碳鋼的显微分析..... 114

- 1 概說(114)——2 碳鋼热处理后的組織組成物(114)——3 鋼的正常退火(116)——4 退火时鋼的过热(117)——5 正常淬火(118)——6 淬火时鋼的过热(119)——7 油中淬火(119)——8 不完全淬火(120)——9 回火屈氏体(120)——10 回火索氏体(121)——11 过共析鋼的組織(121)——12 滲碳鋼的組織(122)——13 滲氮鋼的組織(124)——14 任务和方法的指导(126)

实验10 热处理对鋼的机械性能的影响 128

- 1 概說(128)——2 ИМ-4P 拉力試驗机(128)——3 戈果陵压力机(130)——4 拉力圖的繪制及比例極限 σ_p 与屈服極限 $\sigma_{0.2}$ 的測定(132)——5 任务和方法的指导(134)

实验11 回火溫度对鋼冲击韌性的影响 136

- 1 概說(136)——2 冲击試驗(138)——3 任务和方法的指导(140)

实验12 拉伸眞应力圖的繪制 142

- 1 概說(142)——2 第一种繪制圖形的方法(实验法)(144)——3 第二种繪制圖形的方法(繪圖法)(144)——4 任务和方法的指导(146)

实验13 冷塑性变形对金屬机械性能与組織的影响 147

- 1 概說(147)——2 拉力試驗用 5 吨万能試驗机(148)——3 强度極限 σ_b 与延伸率 δ 的測定法(151)——4 任务和方法的指导(154)

实验14 金屬的再結晶 155

- 1 概說(155)——2 任务和方法的指导(157)

实验15 鋼的恒温处理 160

- 1 概說(160)——2 奧氏体恒温变化的C形曲綫圖的作法(161)——3 鋼在恒温处理后的組織(164)——4 任务和方法的指导(166)

实验16 鋼的淬透性的測定 168

- 1 概說(168)——2 用測定淬火試样截面硬度来确定淬透性的方法(169)——3 測定淬透性的端部淬火法(170)——4 任务和方法的指导(176)

实验17 鋼的表面感应淬火法 178

- 1 概說(178)——2 鋼感应淬火的实际操作(179)——3 任务和方法的指导(182)

实验18 高速鋼的热处理 183

- 1 概說(183)——2 高速鋼淬火加热用爐(184)——3 高速鋼的淬火与回火的实际操作(186)——4 任务和方法的指导(186)

实验19 金屬在高温下的机械性能的研究 188

- 1 概說(188)——2 高温下金屬的拉力試驗机(190)——3 任务和方

的指导(192)

实验20 合金钢的显微分析 194

1 概说(194)——2 结构钢(195)——3 工具钢(201)——4 耐热合金和
耐热高强度合金(204)——5 不锈钢(203)——6 变压器钢(209)——7
任务和方法的指导(209)

实验21 杜拉铝的热处理 212

1 概说(212)——2 杜拉铝热处理的实际操作(214)——3 任务和方法
的指导(216)

实验22 铝合金和镁合金的显微分析 218

1 概说(218)——2 加工铝合金(218)——3 铸造铝合金(224)——4 镁
合金(229)——5 任务和方法的指导(231)

实验23 有色重合金的显微分析 234

1 铜及其合金(234)——2 黄铜(235)——3 青铜(236)——4 巴比合金
(242)——5 任务和方法的指导(245)

实验24 金属的腐蚀 246

1 概说(246)——2 测定腐蚀速度的仪器(腐蚀仪)(250)——3 任务
和方法的指导(250)

原 序

本書的目的是要幫助學生更深入地學習一門極重要的工程課程——金屬學，並培養其獨立工作能力與科學研究能力。

本書是根據敎研組與作者本人在榮膺列寧勳章的以謝爾格·奧爾忠尼啓則（Серго Орджоникидзе）命名的莫斯科航空學院多年來在教學工作中積累起來的經驗編著的。

在本書中引述了 24 個實驗。

在敘述每一個實驗時，首先扼要地提出必要的理論知識，這些知識足以使人領會某些現象的物理本質，可以幫助學生正確地獨立地去完成實驗。接着簡明地敘述進行實驗所用的設備、儀器和機器，以及任務與方法的指導。

在開始實驗之前，學生應根據本敎本熟悉實驗的內容，即熟悉基本理論，某些設備、儀器與機器的構造，進行實驗的方法與任務。由於獨立地進行了準備，學生能夠裝置進行實驗的設備、選擇必要的器材、進行實驗、分析所得的結果並寫出正確的實驗報告。

本書是金屬學實驗敎科書的第二版，是修正很大的一版。

與第一版相比，本書增加了四個新的實驗（與機器製造專業學生的教學大綱相適應）。

全部實驗都重新修訂了，並且補充了新的科學技術資料與方法性的資料。陳舊的材料都刪除了。

作者採用綜合方法作為實驗的結構與其次序排列的基礎。這個方法是以研究金屬與合金的成分、加工、組織與性質的聯繫及其相互關係的要求作為基礎的。

例如，採取進行實驗 8~10 的順序及其結構是要使學生在實踐中最清楚地看到鋼的性質取決於其組織，而某一種熱處理方式則又影響到組織的改變，學生就會深信在加工、組織與性質之間存在着一定的相互聯繫。

緒 論

金屬學是关于金屬与合金的科学，首先是关于金屬与合金的性質的科学，它确定了金屬与合金的性質、組織、成分与加工之間的关系。

金屬与合金的性質（力学的、物理的、化学的与工艺的）取决于其組織，而組織又取决于金屬与合金的加工（热处理、化学热处理、冷与热塑性变形、焊接等等）、化学成分与本性（原子構造与結晶構造）。

金屬學就是研究这些相互关系的規律的，它向我們介紹金屬与合金的本性，金屬的組織与性質随其加工与成分而变的規律，当溫度改变时或受化学与机械作用时金屬合金中發生的内部变化。

金屬學向我們介紹若干極重要的金屬强度問題（金屬的力学性質随机件的大小形狀而改变；金屬对缺口的敏感性；机件中决定于其形狀与所用材料的本性的应力分布情况；金屬的組織与它在不同应力状态下的动态間的关系的确定等等）。

除此之外，金屬學向我們介紹金屬的試驗（研究）方法及为此目的应用的基本仪器；給我們以使用金屬与合金的知識并指出为了一定用途合理选择金屬合金的方法；还向我們介紹金屬的腐蝕与防止腐蝕的方法。

由講課与实验組成的金屬學課程包括下列基本章节：

1. 关于金屬与合金的構造与成分的学說（金相学与X射綫金相学）。
2. 关于金屬与合金热处理与化学热处理的学說。
3. 关于金屬与合金的机械性能与物理性質的学說。
4. 关于金屬与合金的腐蝕的学說。

5. 金屬与合金的試驗与研究方法。

因为实验是金屬学課程的有机組成部分，所以不論在听課时或在做实验时，学生对本課程的所有上述章节都要通曉。

金屬学之形成为科学，只是在十九世紀由于机器制造业、造船業与交通运输業的蓬勃發展才开始的。

科学的金屬学的奠基者是俄罗斯冶金家巴維尔·彼得洛維奇·阿諾索夫（Павел Петрович Аносов, 1799~1851年）与俄罗斯学者德米特里·康斯坦丁諾維奇·切尔諾夫教授（Дмитрий Константинович Чернов, 1839~1921年），他們作出了許多世界意义的發現，从而奠定了这門科学的基础。他們首先确定了鋼的結構与鑄造、鍛造、热处理条件間的关系，并指出了鋼的性質与組織間的联系。

在烏拉尔茲拉托烏斯托夫兵工厂工作的阿諾索夫發現了制造大馬士革宝劍（白刃）的秘密并研究出了生产優質劍鋼的方法。阿諾索夫在制定了宝劍的生产工艺（鋼的鑄造、鍛造与热处理）以后，还在1831年就首先应用显微鏡来研究劍鋼的組織，同时确定了鋼的性質与組織間的关系，从而奠定了研究金屬的宏观法与显微法的科学基础（著作「关于宝劍」，1841年）。阿諾索夫还进行了其他許多突出的研究工作。

还远在以測定溫度的仪器——高溫計發明之前（高溫計是由勒沙特里在1886年發明的），在1866年切尔諾夫即由于其非凡的觀察力，不用仪器只憑肉眼研究了鋼的加热与冷却过程，因而發現了鋼的临界点 α 及 b ②点，即相当于現在奧斯蒙特（Осмонд）所称的 A_1 与 A_3 并确定了溫度与鋼中組織变化之間存在的联系。这个發現是世界科学上的巨大事件，因为鋼的热处理終于不再是某个工匠的秘密而得到了科学的說明。

② 但切尔諾夫的 b 点不能無条件地与奧斯蒙特的 A_3 点完全等同〔参閱「鋼加热时的相变与組織转变」（В. Д. Садовский, К. А. Мальшев, Б. Г. Сазонов: Фазовые и структурные превращения при нагреве стали, Металлургиядат, 1954）〕。

切尔諾夫获得了世界性的声誉，还在生前他就完全無愧地被人們称为「金相学之父」。

卡拉庫茨基 (Н. В. Калакуцкий) 与拉符洛夫 (А. С. Лавров) (切尔諾夫同时代的人) 也对金屬的科学有巨大的貢獻。他們發現了鋼鑄件的偏析現象 (化学成分与組織的不均匀性) 并研究了鋼中縮孔的形成过程。[鑄鉄与鋼中內应力的研究] 的著作也屬於卡拉庫茨基。切尔諾夫的有天才的学生是惹少塔尔斯基 (А. Л. Рже-шотарский)。他在 1882 年出版了 [淬火理論] 的著作，而在 1898 年又出版了 [鉄、鋼与鑄鉄的显微研究] 的書与圖譜。后来，阿諾索夫和切尔諾夫等人的学說由庫尔納科夫 (Н. С. Курнаков)，巴依科夫 (А. А. Байков)，別廖也夫 (А. А. Беляев)，明克維奇 (Н. А. Минкевич)，斯琴別尔格 (С. С. Штейнберг)，契惹夫斯基 (Н. П. Чижевский)，巴布申 (А. Л. Бабошин)，奧克諾夫 (М. Г. Окнов)，古德卓夫 (Н. Т. Гудцов)，庫尔久莫夫 (Г. В. Курдюмов) 及其他学者繼承下来并加以發展。

斯琴別尔格在鋼中轉變的理論方面的工作 (奧氏体的形成与轉變，合金元素的影响等)，古德卓夫的工作 (馬氏体的本性，回火时鋼中的变化，合金鋼基本原理的建立，关于大体积鋼的結晶規律的学說，金屬机械性能的綜合試驗法等) 及庫尔久莫夫的工作 (馬氏体相变，鋼中回火时的变化等) 都是享有盛名的。

有色合金金屬学方面的現代知識主要是以包奇伐尔 (А. А. Бочвар) 的工作 (合金工艺性質与相圖的联系，压力下的結晶作用，共晶型合金的結晶动力学等等)，康諾別也夫斯基 (С. Т. Конобевский) 的工作 (电子化合物領域內的研究，合金时效理論等) 与沃隆諾夫 (С. М. Воронов) 的工作 (許多輕合金的研究及其工業上的应用等) 为基础。

金屬强度与塑性的研究是由致力于研究材料組織与机械性能間的联系的金屬学者——强度学者們来进行的「庫尔納科夫，約菲 (А. Ф. Иоффе) 达維金科夫 (Н. Н. Давиденков) 等」。

、在外国金属学家中应提出：

英国的罗勃斯·奥斯汀 (Roberts Austin) 曾从事 Fe—C 平衡图的测制并研究过铁碳合金的热现象与组织的变化等；

英国的索培 (Sorby) 以其用显微镜研究钢的组织方面的工作与改进研究金属的金相法而著名；

法国的奥斯蒙特 (Osmond) 研究了铁碳合金加热与冷却时的变化与组织；实行了钢铁临界点的表示法；创立与改进了金相磨片的制备与侵蚀方法；

德国的马丁斯 (Мартекс) 与盖恩 (Гейн) 也研究了金属的组织并改进了用显微镜研究金属的技术；

还有法国的勒沙特里 (Ле-Шателье)、美国的索魏尔 (Совер) 和日本的本岛 (Хонду)。

实验 1 结晶过程的研究及铸锭的构造

1 概 說

由液相形成晶体（一次结晶）和由固相形成晶体（二次结晶）的过程称为结晶。切尔诺夫在他1878年所发表的經典著作「鑄鋼塊組織的研究」一書中首先闡述了鋼从液相结晶的过程。

包括金屬在內的固态結晶体的特点是在它内部的原子呈有規律的几何排列，而在液态时的原子排列，則仅仅是保持一种“近程有序”（Ближний порядок），在某原子近邻呈現有規律的排列，形成些不大的原子組合。根据达尼罗夫研究的数据，当接近于結晶溫度时，即使在液体状态，在个别地方的原子的排列也与在固体金屬中的很近似。

組成金屬的晶体（晶粒^①）有各向异性的特性，即各个方向的物理性質不同，可是在非晶体物体中（玻璃、松脂、胶木、纖維素）是各向同性的，即性質与方向无关。金屬熔融时金屬中原子有規律排列的总合即所謂点陣發生破坏，而当結晶时点陣就形成了。根据大家熟知的热动力位势，則金屬結晶过程的能量条件很容易說明在任何相变的同时均有自由能的减小。

正如大家所知道的，系統的自由能（对液体和固体而言）等于：

$$F = U - TS,$$

式中 U ——总能量； T ——絕對溫度； S ——系統的熵。

圖 1 表示金屬液体和固体自由能随溫度而变的关系曲綫。

研究这些曲綫可知当液相过冷到 T_0 [結晶溫度（熔化溫度） $F_{\text{固}} = F_{\text{液}}$] 以下时，因为固相在此溫度具有比較小的自由能，所以結晶过程开始。可見在低的溫度固体是較稳定的。至于說到結晶

① 沒有一定外形的晶体通常称为晶粒（参看圖43）。