

高等学校教学用书

金属学和热处理

波尔赫維奇諾夫著



机械工业出版社

金属学及热处理

金属学和热处理

（第二版）



机械工业出版社

高等学校教学用书



金属学和热处理

(修订第三版)

徐祖耀、许晋堃、陆大紘、贺宗文

徐纪楠、萧宜雍、姚鸿年合译

苏联高等教育部审定为机械制造高等学校教科书



机械工业出版社

1957

出版者的話

本書內容包括金屬的結晶組織，合金理論，鉄碳合金，鋼与鑄鉄，金屬与合金的塑性变形与强度，热处理与表面强化的理論与成就，高頻淬火与化学热处理，結構鋼与工具鋼，具有特殊物理化学性質的鋼与合金，有色金屬合金（包括軸承合金）与粉末合金。

本書是机器制造和農業机械化高等学校的教科書，並可供中級工程技術人員参考。

目 次

原序	7
緒論	9
第一章 苏联科学家們在創立与發展金屬学中的作用	11
1 金屬学的創始者	12
2 金屬学和热处理科学学派的締造者	16
第二章 金屬的結晶組織	20
1 金屬的結晶結構	20
2 結晶过程原理	31
3 結晶形成的形狀	36
第三章 合金理論	43
1 合金組織的基本組成物	43
2 相律	47
3 二元合金	49
4 三元合金	62
5 合金的性質和成分間的关系	67
第四章 鉄碳合金	69
1 純鉄的冷却曲線和鉄碳合金的基本組織	69
2 鉄碳合金状态圖	74
第五章 碳素鋼	84
1 鋼的粗視組織	84
2 碳和雜質对鋼的顯微組織与性質的影响	86
3 碳鋼的分类	92
第六章 鑄鉄	95
1 雜質对鑄鉄組織与性質的影响	95
2 灰口鉄的顯微組織与性質	97
3 鑄鉄的石墨化	103
4 鑄鉄的变質	105
5 合金鑄鉄	111

6 灰口鉄在机器制造中的用途	112
7 展性鑄鉄	113
第七章 塑性变形和再結晶	121
1 單晶体的塑性变形	121
2 多晶体的塑性变形	126
3 再結晶	129
4 在压力热加工时的变形	134
第八章 金屬和合金的強度	137
1 靜力强度	138
2 冲击强度	142
3 疲劳强度	145
4 內应力	153
第九章 热处理的原理	158
1 合金的热处理	158
2 研究鋼在加热和冷却时組織轉变的方法	160
3 奥氏体的形成	163
4 奥氏体晶粒的大小	166
5 奥氏体的轉变	172
6 回火时的轉变	190
第十章 热处理的实际操作	195
1 金屬的加热和保护气氛	195
2 退火和正火	200
3 鋼的淬火	204
4 鋼的淬透性	213
5 鋼的回火	220
6 冷处理	224
7 灰口鑄鉄的热处理	225
8 結構对热处理的影响	226
第十一章 鋼的感应加热和高頻淬火	229
1 感应加热的原理及其設備	231
2 用於高頻淬火的鋼和鑄鉄及其組織轉变和强度	234
3 高頻淬火的实际应用	243

4 表面淬火的其他方法	247
第十二章 化学热处理	249
1 鋼的滲碳	249
2 滲碳用的鋼及滲碳后的热处理	256
3 氮化	260
4 氰化	264
5 擴散金屬处理	267
第十三章 噴珠硬化	270
第十四章 合金鋼	279
1 鋼的合金化原理	279
2 合金元素影响的特征	289
3 合金鋼热处理的特点	293
4 合金鋼的疵病	296
5 合金鋼的分类	297
第十五章 合金構造鋼	300
1 合金鋼和低合金鋼及其热处理和应用	300
2 鋼的切削加工性	313
3 冷压用的鋼板	319
4 構造鋼的力学性質	327
第十六章 工具鋼	330
1 緒言及分类	330
2 碳素工具鋼	331
3 合金工具鋼	333
4 高速鋼	343
第十七章 具有特种物理与化学性質的鋼及合金	352
1 金屬的腐蝕	352
2 不銹鋼	357
3 抗热的及表面穩定的鋼及合金	360
4 磁性鋼及合金	366
5 高电阻鋼及合金	371
6 特別耐磨的鋼	373
第十八章 有色合金	374

1 鋁及其合金	374
2 鎂及其合金	386
3 銅及其合金	389
4 軸承合金	398
第十九章 粉末合金	419
1 粉末合金的制造原理	409
2 硬質合金	413
3 其他粉末合金	420

獻給光輝的金屬科學奠基人
和光榮的俄國金屬學派的創始人
迪·康·切爾諾夫

原 序

在本教科書的第三版中，作者作了許多修改和補充。

例如，在第二章“金屬的結晶組織”中，有關結晶理論的一節從新加以改寫，為了達到敘述的系統性，進行了材料的重行組織，說明了關於點陣參數，晶面指數及關於金屬鍵的概念。在第三章與第四章中，對冷卻曲線，特別是對於鐵碳合金圖，應用了相律。

第六章“鑄鐵”在敘述石墨沉淀的立體形狀、石墨化理論、變質作用等部分，特別是敘述新的高強度加鎂球墨鑄鐵的部分，作了重大的修改與更新。在第八章“金屬的強度”中，關於金屬的斷裂、對缺口的靈敏性二節，作了修改與不多的補充，對應力集中一節作了修改。

第九章“熱處理原理”作了特別重大的修正與改編。基本的定義應用了例子來加以說明，奧氏體的研究方法，形成與轉變均作了增補並予以確定。關於奧氏體的形成一節已重新編寫。關於奧氏體轉變一節，特別是馬氏體轉變部分，已加修正；奧氏體轉變時內應力的作用也已加以明確。關於連續冷卻時的轉變、臨界淬火速度與奧氏體的穩定化，則增補了新的節目。

在第十章中修正了有關氧化與脫碳的一節。由於在工業上機械零件的熱處理廣泛地應用了感應加熱與高頻淬火，在第十一章中增加了關於高頻淬火的热參數一節，並詳細敘述了相變及自動回火的特点，同時還作了若干確定與修正。

在第十二章中修正了滲碳過程的原理，改編了材料，並對氣體滲碳過程給予了更大的注意，敘述了新的快速氣體滲碳法，對於綜合的

表面强化法及这时所形成的最大可能的残余应力的良好分佈的作用給予了重視。

由於在工具生產中应用分級淬火与恆溫淬火的成功，就必需敘說苏联在工具鹽浴加热与淬火工藝方面的成就。

从苏联國家标准摘用的材料，逐章作了校訂与更新，确定了名詞，並增補了参考文献表。

有些粗視照片与顯微照片是作者由下列同志处借用的：阿苏諾夫（А. Д. Ассонов），波尔赫維奇諾娃（Е. Н. Болховитинова），格尔金（А. И. Гардин），盖尔奇柯娃（Н. С. Герчикова），柯其柯娃（Е. Т. Котикова），倫京（П. А. Ланкин），洛塔烈娃（О. В. Лотарева），謝比涼柯夫斯基（К. З. Шепеляковский），希洛娃（Е. И. Шилова），歇萊堡（Д. С. Шрейбер），卡波洛娃（И. Н. Чапорова）。

緒 論

在相互联系的基礎上研究金屬与合金內部構造及性質的科学称为金屬学。屬於金屬与合金的性質的有：力学性質，例如强度、韌性及硬度；化学性質，例如对侵蝕介質作用的抵抗能力；物理性質，例如磁性，电气性質，体積改变的性質及有关热的性質；工藝性質，例如流动性、可鍛性，切削加工性和淬透性。

在物理与物理化学現代成就的基礎上，金屬学綜合和应用着很多科学与工業實驗室的强大系統的大量实际經驗。所有这些，随着物理研究法（例如X線組織分析法，磁性分析法与电子顯微鏡法）的廣泛应用，已使金屬学中創造出許多先進的理論。这些理論已不僅成为現有工藝过程的科学根据，而且还指導了新工藝过程的創造，推动着冶金与机械制造業的生產。

金屬学教程是由兩個基本部分所組成。第一部分（一般部分論述金屬学的理論基礎，金屬的結晶構造与合金理論，關於金屬塑性变形与强度的学說，鉄碳合金狀態圖，以及热处理与化学热处理的原理；第二部分（專門部分）則述及構造鋼与工具鋼，有特殊物理性質与化学性質的鋼与合金，有色金屬合金，軸承合金及粉末合金。

在現代技術中，使用得最多的是最易制得的和价格最廉的鉄合金——鋼与鑄鉄；因此在金屬学教程中賦以主要的地位。由於技術的進步，有色金屬合金的应用在增長着。有色金屬合金在現代机械制造業中的用途是很大的，虽然这些合金的生產量还比鋼和鑄鉄的生產量差許多倍。同时，有色金屬合金的研究對於理論金屬学具有很大的益处；其中組織的变化与性質的改变，比在鉄合金中進行得明顯而富有特征，並更容易研究。

鋁（在地殼中分佈最廣的金屬）的应用對於技術有很大的意义。可惜的是，在它的生產中暫時不得不耗費極多的电能，从含这种金屬

最多的礦石（例如鋁礬土）中去取得。銅、鋅、鉛佔次要地位，煉鋼時所必需的錳、矽、鉻以及極輕的金屬鎂再次之。

最后必須強調指出，在現代機械制造業中，在大多數情況下应用了价廉而不稀缺的材料；而在正确選擇材料和適當的热处理时，这些材料能使我們獲得高質量的制品。在選擇材料及其热处理时，必須考慮到設計師在提高机件的力学性質与減輕机件重量方面日益增長的要求。工藝師对金屬提出了不少的要求。他力圖獲得切削加工性优良、鑄造質量好、具有冷态及热态可鍛性及焊接性等的金屬。

第一章 苏联科学家們在創立与 發展金屬学中的作用

在創造金屬科学方面，最大的貢獻归功於俄國的科学家們，而他們在这門科学的繼續發展中，也起着首要的作用。俄國科学家們的作用，在偉大的十月社会主义革命以后尤其巨大，十月社会主义革命在他們面前開了無限远大的前途与可能。

金屬学的發展是与实际的金屬生產和加工經常緊密联系着的，这在俄國从远古时起就已存在。

十八世紀中俄國鋼鐵的生產曾佔世界第一位。因此决非偶然，俄國金屬科学的开始早在十八世紀就由罗蒙諾索夫（М.В. Ломоносов）打下了基礎。他寫成了‘冶金或礦業初步基礎’一書。

十九世紀初，俄國的生鐵產量已达1200万普特[●]或20万噸，而且絕大多數生鐵是在烏拉爾熔煉的。但从这时候起，在随后五十年的时期中，俄國的冶金生產呈現了停滯不前，而只在俄國廢除農奴制度之后，那些与修建鐵路及大小工厂有关的工業部門才开始新的增長。因此到1913年俄國生鐵的生產达到了420万噸。但是，即使如此，沙皇俄國在它的工業發展方面还是落后於先進的資本主义國家。

在俄國人民命运中起着最巨大作用的偉大十月社会主义革命，充分地保證了冶金与机器制造業的恢复与歷史上空前未有的不斷發展，而在这个基礎上也保證了金屬科学的發展。

由於國家工業化的結果，在苏联建立了許多新的冶金工厂与机器制造工厂，創立了汽車、拖拉机、机床制造与其他各种新的机器制造部門，这些都要求冶金業生產各种高級優質鋼並廣泛应用热处理。

在苏联，黑色与有色金屬的生產每年都在極大地增長着，這不僅

● 一普特等於16.38公斤。——譯者

是由於新的冶金与机器制造工厂的建成的結果，而且也由於依靠更好地利用現有設備，廣泛应用新的科学技術成就，快速工作法与繁重过程的綜合机械化和自动化。苏維埃冶金業勝利地完成着交給他們的光榮任务——达到每年生產5000万噸生鉄和6000万噸鋼。

冶金与机器制造業的極大發展，顯著地推進了苏联的科学，特別是金屬学。由於共產党和苏联政府的經常关怀，在苏联不論是工厂里或在科学研究所和高等学校中，業已建立了廣大的、設備良好的實驗室網，其間數万个專家正在進行与增長着的冶金及机器制造工業的實踐緊密联系着的金屬研究工作。

1 金屬学的創始者

傑出的俄國冶金学家——茲拉托烏斯托夫工厂厂長巴威尔·彼得洛維奇·阿諾索夫（Павел Петрович Аносов, 1797~1851）建立了優質鑄鋼生產的基礎，他在研究鋼中合金元素——錳、鉻、鈦等等的影響方面曾進行了很多工作。

阿諾索夫的名字与制造性韌可彎，同時還能削鋼的大馬士寶劍秘密的發現相联系着。阿諾索夫建立了現代金屬学的基本理論，即金屬的性質決定於其內部構造——組織。在一百多年以前，阿諾索夫已研究了用侵蝕來顯示鋼的宏觀組織的方法，开始了鋼錠構造的研究，並注意到了鋼的澆鑄工藝。他首先（於1831年）在研究鋼時应用了顯微鏡。

阿諾索夫研究了氣體滲碳的方法，並証明：鋼用碳來飽和能極成功地在氣體介質中進行。

阿諾索夫的工作由阿歷克賽·斯切潘諾維奇·拉符洛夫（Александр Степанович Лавров）及尼古拉·維尼阿米諾維奇·卡拉庫茨基（Николай Вениаминович Калакуцкий）繼承了，他們研究了鋼錠的組織，進行了其不同部位的化學分析，而在1866年發現了偏析現象（沿鋼錠的截面及縱高的化學不均勻性），並研究了氣泡与縮孔的形成。拉符洛夫与卡拉庫茨基研究了与鋼錠和鑄件的這些缺陷進行斗争的方

法。同时他們研究了加热、鍛造与冷却速度对鋼的組織和性質的影响。拉符洛夫及卡拉庫茨基的研究曾得金屬学的創始者切尔諾夫 (Д.К. Чернов) 很高的評價。他寫道：“我們的文献应当以拉符洛夫与卡拉庫茨基的著作自豪；他們首先指出了在鑄鋼塊中空洞的分佈及其与熔煉及鑄造情况間的关系——在鋼塊不同部位鋼本身密度的变迁及其化学成分的不均匀性”。

巴威尔·馬特維也維奇·奥波郝夫 (Павел Матвеевич Обухов) 創造性地發展了阿諾索夫關於煉鋼的學說，於1864年在奥波郝夫工厂創造了俄國同類鑄鋼的大量生產。

現代金屬学的創始者是卓越的俄國學者迪米特里·康斯坦契諾維奇·切尔諾夫 (Дмитрий Константинович Чернов, 1839~1921)。1859年切尔諾夫在工藝学院畢業，並進了造幣厂。切尔諾夫在造幣厂中对模压工作的觀察成了很多年后他發現大炮熾热的热疲劳的推动力。1866年奥波郝夫邀請切尔諾夫到他的工厂去，1868年切尔諾夫在那里作出了鋼的臨界点的卓越發現，並确定了臨界点与鋼的組織与性質变化間的关系。那时还没有热电高溫計，切尔諾夫只不过依靠了他非凡的觀察力來工作。

切尔諾夫本人的研究以謙虛的題目‘評拉符洛夫与卡拉庫茨基先生關於鋼与鋼炮的論文及切尔諾夫本人在同一論題方面的研究’發表在1868年第7号‘俄國工程学会研究所 (ИРТО) 通报’上。

同时，切尔諾夫的作品曾由他在俄國工程学会中作了报告。在討論之后，切尔諾夫在他的結語中表示了坚强的信心，即由他所提出的問題应当成为金屬科学繼續發展的基礎。

1868年切尔諾夫臨界点的發現与1869年門捷也夫 (Д.И. Менделеев) 週期律的卓越發現，乃是現代金屬学的基礎，門捷也夫週期律使得原子構造、合金的結晶組織与性質間的关系能够建立起來。这个規律使人們能够預見並解釋各元素对合金的組織及性質的影响，他們对形成固溶体、化合物的能力等等。

經過十年，於1878年切尔諾夫在俄國工程学会作了新的报告‘关

於鑄鋼塊組織的研究’，其中發展了他關於鋼的結晶與結晶核心、气体的析出與鋼由液態變成固態時體積的改變以及偏析現象的卓越思想；正是切爾諾夫本人，確定了在結晶理論問題上俄國科學的優先地位，而大大的早於在小坩堝中以透明有機物進行實驗的塔曼（Г. Тамман）。切爾諾夫創立了關於結晶核心的學說與澆鑄在鐵模中的大體積的鋼（流動性很小的液體）的晶体長大的理論。

切爾諾夫在鋼的結晶方面所作出的、在我們的時代中被热力學的基本原理所補充的發現，具有極大的意義。這些發現使人們能够解釋結晶過程，並幫助蘇聯科學家創造新的先進理論，例如鋼錠的週期性結晶，鋼的晶粒的控制，高級優質鑄鐵與許多有色金屬合金的變質作用與生產。

著名的 3.45 公斤重的切爾諾夫晶体，是他在鋼錠的收縮孔中得到的。一直到現在它還是鋼結晶現象的典范插圖，被引用於一切金屬學的教科書中。

1884年切爾諾夫首先敘述了在變形鋼的表面上的滑移線，公正地說，這就應當以切爾諾夫之名來稱呼它，而不應是比它晚的研究者呂吉斯（Людерс）。

1885年切爾諾夫曾發現鋼的淬火不僅可以在水或油中進行，而且也可以在熱介質中進行。他曾將鋼放在 200°C 的熔融鉛錫合金中淬火。這個發現具有巨大的實際和理論意義。它開始了鋼的分級淬火的应用，及嗣後鋼的奧氏體等溫變化的研究。

1889年切爾諾夫進了砲兵學院，在那里一直工作到逝世。在他還是教授時，他發表了很多關於穿甲砲彈與炮筒熾熱方面的著作；這些著作至今還保存着本身的實用價值。

類似於阿諾索夫及切爾諾夫，卓越的俄國金屬學家尼古拉·維尼阿米諾維奇·卡拉庫茨基（1831~1889）進行了他的與生產緊密聯系着的科學研究（先在士拉托烏司托夫工廠，而後在奧波郝夫工廠），由此大大地促進了鋼的生產和加工的成功。不僅如此，他還曾在艱苦的条件下不屈不撓地終生為俄國金屬工業的獨立發展、反對從屬於外國

而斗争。他与拉符洛夫友谊地合作进行的工作已在前面述及。鋼与鋼机件的出厂与驗收試驗的全面方法，特别是在工藝过程的控制与金屬和合金力学性質的測定方面，是卡拉庫茨基所研究出的。所有这些工作不僅促進了鋼制品質量的不斷提高，而且創造了普及於全俄國的先進的試驗經驗。

卡拉庫茨基的主要著作是他多年的作品‘鋼鉄中內应力的研究’，这一作品於1887年首先在彼得堡出版，並曾譯为英文及法文。这本书包含了極巨大的科学發現——由卡拉庫茨基首先研究出的鋼鉄制品中的內应力或殘余应力的測定方法。从他剛一开始在工厂工作时起，內应力（殘余应力）就使卡拉庫茨基感觉到兴趣，他就在工厂中研究了淬火和鑄造时內应力的形成情况。

卡拉庫茨基当时已經肯定，如果研究了內应力，則許多制品的生產就会完善得多。他曾寫过，曲軸、推桿、大汽缸、管子等运用时的損坏的研究，証明了它們的金屬質量是否良好以及它們損坏与断裂的原因应当在內应力的分佈情况中去尋找；研究这些应力就会使机件的損坏能够免除。卡拉庫茨基首先証明，如在机件中創造良好的內应力的分佈（在其表面有压縮应力），則能顯著提高其强度。他这个結論在現代机器制造中被廣泛地应用着。用噴珠硬化、滾压、冷拔、高频表面淬火以及其他表面硬化的方法（滲碳及氮化）可造成良好的內应力分佈，这样就大大提高了机件的疲劳極限与使用寿命。

內应力对促進或阻滯金屬与合金組織的形成及改变（例如在結晶过程、擴散及热处理时）的主要因素的巨大影响是並非次要的。

和阿諾索夫及切尔諾夫的卓越發現一样，卡拉庫茨基關於內应力的著作已成为金屬学的基础之一。但是卡拉庫茨基的这些研究工作曾長時間的不被注意，只是在偉大十月社会主义革命之后，他的見解才被苏联科学家們創造性地發展起來，並在生產中加以运用，而卡拉庫茨基所研究出的測定內应力方法的价值及其結論的基本內容，一直到我們这时期还保持着科学的和实用的价值。