

高等学校教学用书

金属学及钢的热处理实验

Д. Я. 維什尼亞柯夫 著
И. В. 帕依索夫

程肅之 譯

冶金工業出版社

高等學校教學用書

金屬學及鋼的熱處理實驗

Д.Я. 維什尼亞柯夫 著
И.В. 帕依索夫
程肅之 譯

冶金工業出版社

本書系根据蘇联國立黑色與有色冶金科技書籍出版社出版的 Д.Я. 維什尼亞柯夫和 И.В. 帕依索夫所著的“金屬學及鋼的熱處理實驗”一書 1955 年版譯出。原書經蘇聯高等教育部審定為高等冶金學校教學參考書。

書中敘述了高等冶金學校的熱處理課程及金屬學課程中專題的實驗。每個實驗的敘述包括簡明的原理介紹、實驗目的以及實驗方法和程序。在附錄中列出了必要的參考資料：各種硬度換算法、維氏硬度試驗的硬度值、鑄鐵的機械性能、構造鋼的機械性能、鋼的化學成分等表。在每個實驗的敘述中列出了寫實驗報告所必需的显微照相圖、曲線圖及表格形式等項。全書共有二十個實驗，前十四個是按組進行的實驗，後六個是單獨進行的補充實驗。

本書可供我國高等工業學校學習金屬學及熱處理課的學生作參考書用，也可供一般初從事金屬學實驗研究工作的同志參考。

Д.Я. Вишняков и И.В. Паисов
Пособие к лабораторным занятиям по металлостроению и
термической обработке стали
Металлургиздат (Москва—1955)

金屬學及鋼的熱處理實驗

程肅之 譯

編輯：馬鴻鈞 設計：趙香苓 責任校對：楊維琴

1957年9月第一版 1957年9月北京第一次印刷 1850 冊

850×1168. 1/32. 100,000 字 • 印張 $4\frac{2}{32}$ • 定價 (10) 0.70 元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0655

冶金工業出版社出版 (地址：北京市市口甲 45 號)

北京市書刊出版營業許可証出字第 093 號

譯者的話

“金屬學及鋼的熱處理實驗”一書是 Д.Я. 維什尼亞柯夫和 И.В. 帕依索夫根據莫斯科斯大林鋼鐵學院金屬學與熱處理教研組多年的教學經驗寫成的。

本書在翻譯過程中，譯者力求使譯文符合於我國語言的語法和習慣；在保持原意的前提下，有時採取意譯。

關於人名的譯法，現在各書頗不一致。譯者盡量採用一般常用的譯名。如書中所列之學者有著作已譯成中文者，則採用該譯著所用的譯名。

關於專用名詞和術語的譯法，目前各書還不一致。譯者盡量採用中國科學院公佈的譯名以及目前各書刊中常用的譯法。

由於譯者能力的限制，譯文中不妥之處勢所難免，希望同志們指正。

本書譯稿曾蒙北京鋼鐵工業學院金相熱處理教研組主任趙錫霖教授審閱，特此致以衷心的謝意。

程肅之一九五六年八月於北京

目 录

序言	5
----------	---

第一部分 按組进行的实验

实 驗 1. 鋼的化学成分的檢查	7
实 驗 2. 鋼中晶粒大小的測定	18
实 驗 2. 热处理对冷态变形鋼的显微組織及硬度的影响	31
实 驗 4. 热处理对过热鋼的显微組織及性能的影响	38
实 驗 5. 試样大小和鋼的化学成分对淬硬性及淬透性的影响	41
实 驗 6. 热处理对構造鋼的机械性能的影响	49
实 驗 7. 鋼的化学热处理	53
实 驗 8. 淬火时高频加热参数对構造鋼的硬度、組織及硬化層深度的影响	58
实 驗 9. 鑄鉄的热处理	65
实 驗 10. 鎳、錳和鉻对鋼的临界点的影响	72
实 驗 11. 特殊元素对鋼的淬透性的影响	77
实 驗 12. 热处理对合金構造鋼的显微組織、硬度及机械性能的影响	80
实 驗 13. 热处理对碳素工具鋼与合金工具鋼的硬度及显微組織的影响	86
实 驗 14. 高速鋼的热处理	94

第二部分 独立进行的补充实验

补充实验 1. 硬化構造鋼、工具鋼的零下溫度处理	98
补充实验 2. 冷却介質对鋼的淬硬性及淬透性的影响	102
补充实验 2. 高溫下鋼的性能	106
补充实验 4. 鋼的等溫处理	110
补充实验 5. 工業純鉄、低碳碳素鋼及低合金鋼的时效	113
补充实验 6. 合金鋼於回火后慢冷时的脆性	114
附录 I、硬度換算表	116
附录 I、維氏硬度試驗的硬度值	118
附录 III、鑄鉄的机械性能	121
附录 IV、構造鋼的机械性能	122
附录 V、鋼的化学成分	124
华俄名詞对照表	128

序 言

本教材中探討了金屬學及熱處理實驗的方法。實驗題目的性質和內容，是依照金屬學及熱處理的專業課程和普通課程的教學大綱選擇的。教材中所提出的實驗，是在榮獲勞動紅旗勳章的莫斯科斯大林鋼鐵學院中多年來作為《熱處理理論》和《金屬學專題》的試驗課程的題目的。

根據教研組教師們所積累的經驗，本書著者認為，指導學生進行金屬學及熱處理實驗課時，必需達到下列三個基本目的：

1. 使學生有可能實際掌握鋼鐵熱處理及其化學熱處理的基本方法，獲得進行各種熱處理操作及熱處理後對金屬組織和性能進行檢查和研究的技能；

2. 獲得當研究金屬在熱處理和化學熱處理過程中所發生的組織和性能變化的規律時利用技術文獻——教科書、手冊、論文——的技能；

3. 教會學生能借助於編制表格、繪制曲線、描繪顯微組織、評定斷口等方法來總結所得到的實驗數據。教會學生能根據文獻和實驗數據編寫實驗報告和作結論。

當每一題目的實驗完成後應該書寫實驗報告。

必需注意，在課內和課外書寫實驗報告的工作，可以培養學生以後獨立地進行畢業設計的能力。實驗報告應該包括：

- 1) 實驗說明或簡短的文字概述；
- 2) 實驗目的的簡要說明；
- 3) 實驗方法的敘述；
- 4) 全組學生所得的實驗數據；
- 5) 結論。

書中所列的表格和圖的形式，是示范性的；如果實驗條件變動的話，可以作相應的更改。在書寫實驗報告時，每個學生都應該表現最大的獨立性、主動性和創造性。

每个学生的及时地、独立地写成的报告，应该在每一实验完结之后交给教师。

为了发挥学生利用教科书和参考文献的能力，必需将所研究的钢的化学成分、用途和组织列于报告中；报告中还必需摘录相应的国定全苏标准（ГОСТ）和技术条件。

书中包括十四个按组进行的实验和六个独立研究的补充实验；前者是学习普通课程——《金属热处理》和学习专业课程——《热处理理论》及《金属专题》的所有学生来完成的，后者除上述学生外还可供热处理专业的学生来完成。

书中所提出的实验题目和研究题目，显然是比普通课程和专业课程的教学大纲所要求的为多；因为著者力求使教师有可能根据教学大纲的要求和热处理实验室的材料及设备条件，选择最合适的题目来完成。

书中列出几个可以由科学研究小组的学生独立研究的实验，这些同学是准备将其研究结果向教研组会议和学生全体技术会议报告的。

教材中没有叙述热处理专业的学生所应完成的检查和研究生铁、钢和特殊合金的磁性测定实验，也没有叙述粉末冶金实验。

第一 部 分

按組进行的实验

实验 1

鋼的化学成分的檢查

在工厂的实际工作中，大批地檢查鋼的化学成分的方法中使用很广泛的有《火花試驗》，光譜分析法和显微組織分析法。

这一实验的目的，是确定未知試样的鋼的牌号。

用退过火的鋼，制成直径 15—20 毫米、長 100—120 毫米的圆柱形試样 2—4 个，作为研究的对象。在这些試样上打上不同的号码，每个号码相应於一定的鋼号。标号打在試样的中腰上。由每个試样上切下一个高 10—15 毫米的圆柱塊；在这些圆柱塊上制成显微磨片。圆柱塊上也打上与原試样相同的标号。

此外，每个学生領一套直径 6—10 毫米与上述試样的長度相同的标准試样。这些标准試样是打着已知鋼号的試样。

用火花試驗、光譜分析以及显微組織分析的方法来确定鋼的牌号时，分別使用砂輪、光譜仪和金相显微鏡。

火花試驗 为了根据火花来确定鋼的牌号起見，必須很好地認識标准試样的火花束的特征，並認識碳及合金元素对火花束的顏色及形狀的影响^①。

將标准試样与旋轉着的砂輪相接触，使产生火花束。

火花束的样子，依試驗条件(砂輪的表面状态、按压的力量大小、試驗地点的照度等)的不同，会發生一些变化。所以，为了成功地工作，必需遵守試驗的标准条件。

試样在砂輪上应保持得使火花流線^②呈水平的方向射出。

① 在开始工作之前，教师应該讓学生熟悉使用砂輪的安全技术規程。

② “火花束”系指由砂輪射出的火花整体而言，而“流線”系指火花束的各个火花線而言——譯者註。

手对試样所施的压力應該保持完全一定。

观察者的眼睛應該位於距火花束同样的距离处。試样上的氧化皮、鉄锈、疤結等等应預先予以清除；否則，这些缺陷將歪曲某些火花流線的特征。

观察整个火花束的流線的特征和顏色，以及流線尾端上的各个小火花特征和顏色。

对軟鋼（如 10 号鋼）而言，火花流線具有直線的形狀，其尾端有兩個叉的《小尖》，其中一个叉是白亮的，另一个是暗紅色的。火花束是草黃色的。火花束均匀而且較長（圖 1 a）。

随着鋼中含碳量的增加（如 45 号鋼），火花束變得較為疏散了，由头一个《小尖》上又分裂为新的亮的小火花，火花束變得較短，較寬了（圖 1 b）。

Y 12 号高碳鋼的火花束的流線，就更为分散、更为疏散了（圖 1 c）；由头一个《小尖》上分裂为亮黃色的小花朵；火花束也变得更短、更寬了。

如果鋼中含錳，火花束的形狀發生少許变化；但錳使火花流線變得較密；在流線的尾端上看到白色的星狀花朵；火花束的总的形狀，随含碳量的不同而發生变化（圖 1 d）。

含鉻的鋼（如 40X、ШХ15 号鋼、其火花束为紅黃色；某些流線断了；有些火花分出星狀花朵（圖 1 e）。

錳鋼为暗紅色的、不連續的（虛線狀的）火花流線，其尾端有一个亮的尖（圖 1 e）。

鋼中含有大量的錳和鉻（如 P 18 号高速鋼），强烈地影响到流線的形狀，火花束好像是要灭了的样子。流線是不連續的，呈暗紅色或磚紅色；用大的力量才能得到火花束（圖 1 ж）。

火花的特征在暗处或不亮的房間中是容易观察出来的。

当仔細地观察了标准試样的火花之后，用所研究的未知試样的火花与标准試样者加以比較，来鑑定未知試样的鋼的牌号。

显微組織的研究 学生先在显微鏡下預先研究一套标准試样磨片的显微組織。磨片是用 2% 的硝酸酒精溶液或 4% 的苦味酸

溶液来侵蚀的。

在熟悉了标准试样的显微组织以后，将所要研究的试样磨片加以侵蚀，并研究其显微组织。磨片在侵蚀之前，先用水加以洗濯，再用酒精或汽油洗濯以除去其上的油垢，用滤纸吸干，而后用玻璃棒或吸液管把2%的硝酸酒精溶液滴在磨片上。当磨片微微发暗之后，用水将酸液冲去，用酒精洗濯磨片，并用滤纸吸干。

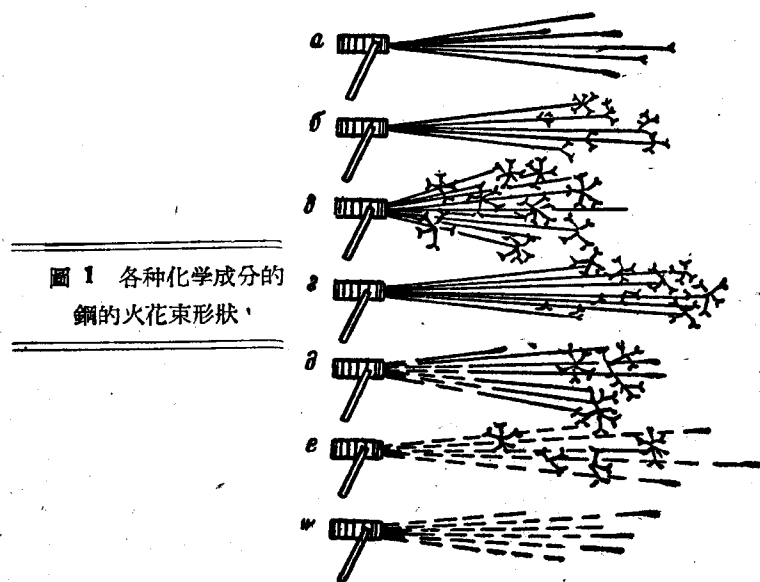


圖 1 各种化学成分的
鋼的火花束形状

侵蚀不足的磨片，在显微镜下观察时，就会发现组织显露得不明显，显露得不好。这样的磨片应该再加以补充的侵蚀。

侵蚀过度的磨片，在显微镜下的特征是：全部都变暗，看不出各种组织的区别，并具有氧化色。这样的磨片可以重新抛光，再加以侵蚀。

用所述的试剂侵蚀过的磨片，应该将下列的组织清楚地显露出来；依据钢的化学成分的不同，这些组织是：

10 号钢—铁素体和数量不多（约10%）的珠光体；

- 45 号鋼—珠光体和鉄素体，其中珠光体較多；
Y 7 号鋼—珠光体和数量不多的鉄素体；
Y 12 号鋼—珠光体和数量不多的游离滲碳体；
P 18 (PΦ 1) 号鋼—索氏体和碳化物。



圖 2 10号鋼於退火状态下的
显微組織。×500

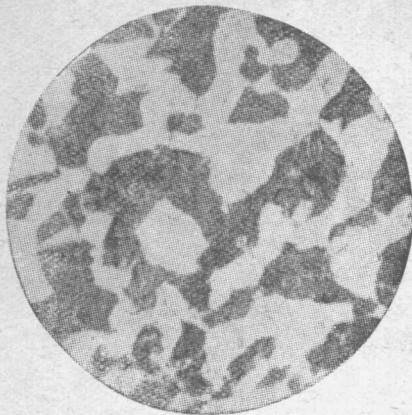


圖 3 45号鋼於退火状态下的
显微組織。×500

上列的組織都是退火状态的鋼所具有的。

鋼的状态用量度其硬度的方法来檢查。

圖 2—圖 6 上列出标准試样的显微組織。

將所要研究的試样的組織与标准試样的組織加以比較，就可以檢查依火花試驗所得到的鋼号的結論是否正确。根据珠光体和鉄素体在磨片上所佔的面积来确定亞共析碳素鋼的近似含碳量。

光譜分析 在許多情況下，用光譜分析可以确定鋼的牌号和鋼的成分。作光譜分析是利用光譜仪来进行。光譜仪是为了用光譜分析法作快速定性分析和快速半定量分析来确定合金的化学成分的裝置。

借助於这个仪器，

可以測定鋼中的合金元素（鉻、錳、鈮、錳、鉬、鎳）；不過，它不能測定碳、硫和磷。

用光譜儀進行分析時，所得的分析結果，不要求高的精確程度；光譜儀是為了進行這樣的分析所用的儀器，這種分析的首要要求是迅速（例如確定鋼的牌號）。

儀器的工作原理如下：在所研究的試樣和《固定電極》（《固定電極》是不含所測定元素的銅棒或鐵棒）之間產生電弧，電弧的光借助於聚光鏡投射到光譜儀的狹縫中去，目鏡中就觀察到所得到的光譜；利用預先繪制好的光譜圖來尋找光譜中所分析的元素特性線；當前述的元素的濃度為千分之幾或萬分之幾

時，大多數元素的特性線都出現在光譜中；元素的大約含量是利用特殊的表格來確定，這些表格是根據元素的特性線與合金基元素（鐵）的鄰近線的比較強度所編制成的。

光譜儀是特殊構造的分光鏡，它具有必要的分散度，並且能

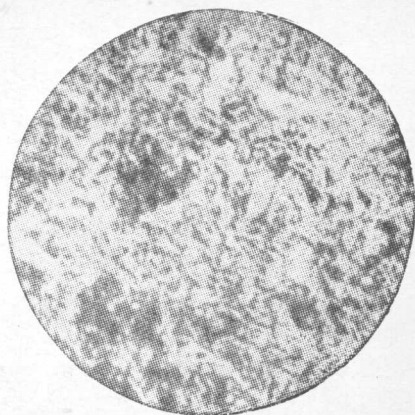


圖 4 Y 7 號鋼於退火狀態下的显微組織。×500

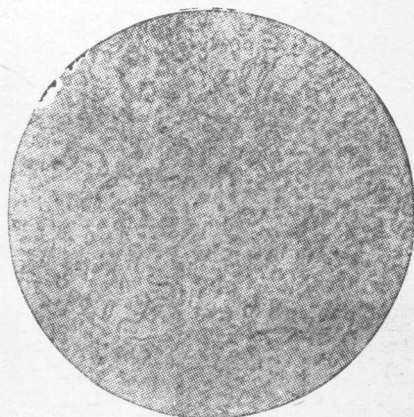


圖 5 Y 12 號鋼於退火狀態下的显微組織。×500

够迅速而准确地描准任何光谱线（圖7）。

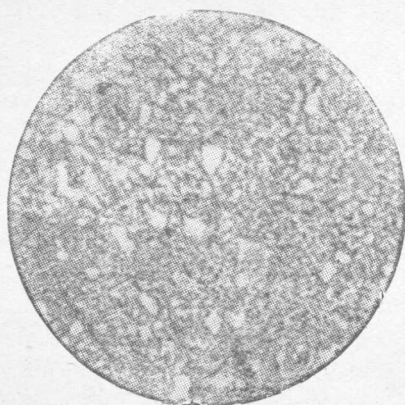


圖 6 P 18 (PФ1) 号鋼於退火状态下的显微組織。×500

光谱仪的机体有：

狭缝、接物鏡、产生光谱的两个分散稜鏡和內全反射稜鏡。內全反射稜鏡是为了轉动由接物鏡出来的光线的方向以得到狭缝与目鏡的方便的相对位置用的。

借助於光谱仪下面的鼓輪来轉动一个分散稜鏡，可实现由一个光谱区过渡到另一个光谱区。

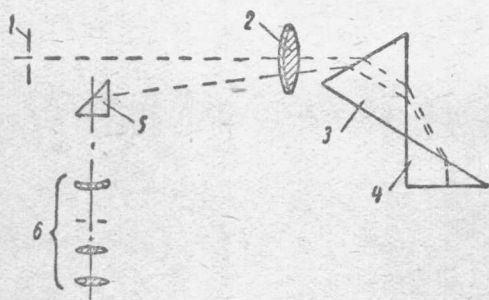


圖 7 光谱仪的光学系統

1—狭缝； 2—物鏡； 3和4—分散稜鏡； 5—反射稜鏡； 6—目鏡

聚光鏡是用来增强光谱线的亮度的。在聚光鏡与电极之間，有平面玻璃用来保护聚光鏡，以免电弧燃燒时所形成的熔融金屬星射到聚光鏡上。

电弧或是用 120—220 伏特的直流电来供給，或是用特制的交流电电弧振盪器来供給。直流电的負極接到所研究的試样上，其正極接到固定电极上。

將所研究的試樣固定在支架的卡頭上；將固定電極固定在特制卡頭上，它應高出於這個卡頭之上，固定在樣板所規定的尺寸之處。

試樣的被研究的表面部分（面積不小於 1 厘米²），和固定電極的端面都在砂輪上加以研磨。裝置試樣，使試樣的端面與固定電極的端面間的距離為 3—4 毫米，而後接通電路。電弧的《燃燒》應該在防護罩內發生，因為含有紫外線的弧光傷害眼睛。

如果電極在儀器軸上裝置得合適，則在光譜儀的觀察場內能看到光譜的所有部分。轉動目鏡來對焦點，應該使各個光譜線都足夠清楚並沿全長都看得同樣清楚。如果觀察不到這種情況，則需要轉動聚光鏡的螺絲來消除這個缺點。在進行分析的過程中，弧光發生移動（跟着電極《跑》），因而聚光鏡的調整是週期地重複着。

為了分析每一種元素，總是利用分佈於光譜的不同區域中的一些光譜線族。

利用預先繪制好的光譜圖（圖 8—圖 12），各個光譜線都是容易分辨出來的。在光譜圖（圖 8—圖 12）中，為了分析所用的光譜線是縮短繪制的（實際上這些線都是同樣的高度）。在光譜中找到光譜圖上所列出的既定元素的光譜線以後，根據基金屬的光譜線強度來評定它們的強度。

在表 1—表 5 上，列出了所測定的元素的光譜線與基金屬光譜線的強度之間的关系，列出了與此关系相符合的試樣中該元素的含量。左邊的數字總是指所測定元素的光譜線而言，右邊的數字總是指為了比較而用的基金屬的光譜線而言。符號 $L=1$ 的意思是線的強度相等； $L<1$ 的意思是左邊的線的強度比右邊線的強度為小； $L>1$ 的意思是左邊線的強度比右邊者為大。

必需根據表中所列的相應線族的所有的線來對每一試樣進行評定。

查明試樣中各種元素的含量之後，根據分析的結果，可以確定它屬於那種牌號的鋼。

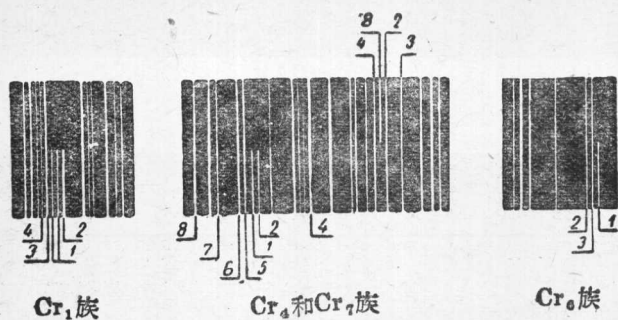


圖 8 鉻的光譜線

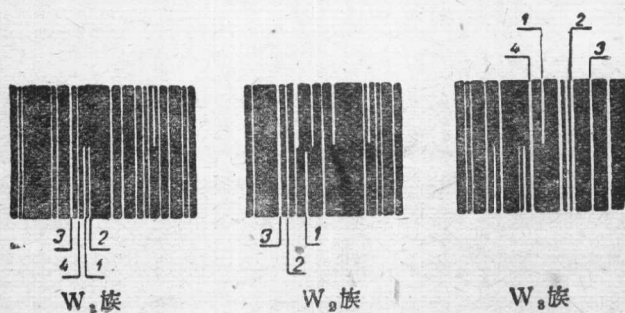


圖 9 錳的光譜線

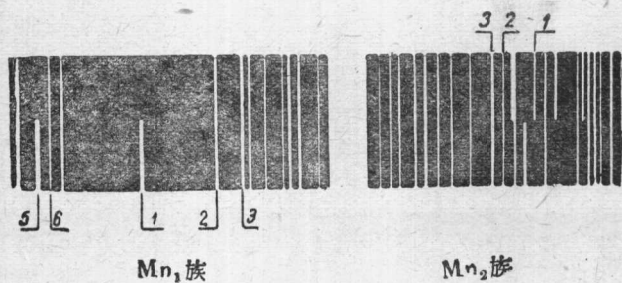


圖 10 錳的光譜線

当分析合金鋼时，應該用純銅或完全不含錫、鈳、鉻、鉬的工業純鐵作为固定電極；含碳量不得超过 0.1% 的低碳鋼，如 10 号或 08 号鋼也可以用来作为固定電極。

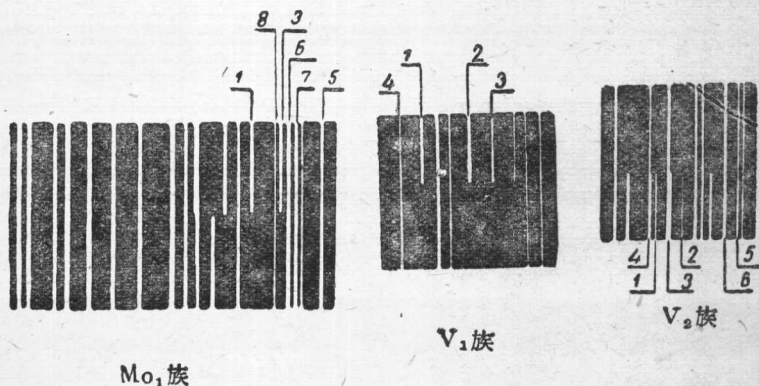


圖 11 鉬的光譜線

圖 12 釩的光譜線

鉻的分析 当用銅電極进行工作时，濃度在 0.05—30% 的鉻可以被測定。測定鉻时，利用四族光譜線：Cr₁、Cr₄、Cr₆ 和 Cr₇（圖 8 和表 1）。Cr₁、Cr₄ 和 Cr₇ 族位於光譜的綠色区域，而 Cr₆ 族則位於淺藍色区域中。

表 1

鉻的測定

線族名称	Cr 含量 %	光譜線强度的評定	線族名称	Cr 含量 %	光譜線强度的評定
Cr ₁	0.05	1=4	Cr ₇	0.3	1=7
	0.10	1=3		0.7	2=7
	0.20	1>3		1.0	1=6; 2>7
Cr ₄	1.0	1=2		1.5	1<5; 1>6; 2>7
	2.5	1=3		2.5	2=6
	5	1>4		5	1>3; 2=5
Cr ₆	10	1<2		10	1=4; 2=8
	15	1=2		20	1>4; 2<4
	20	1>2; 1<3		30	1>4; 2>4
	30	1=3			

Cr₁族用来分析低铬含量(0.05—0.2%)。

当含铬中等(0.3—2.5%)时, 根据Cr₄和Cr₆族来进行铬的分析; 当含铬更高(0.3—30%)时, 根据Cr₇族进行分析。Cr₄和Cr₆族是控制Cr₇族的。

表 2

鉬的測定

線族名称	W含量 %	光譜線强度的評定	線族名称	W含量 %	光譜線强度的評定
W ₁	1.0	1 < 4	W ₂	5.0	1 = 2
	2.5	1 = 4		9.0	1 > 3
	5.0	1 = 3		18.0	1 > 3
	9.0	1 > 3; 2 < 4	W ₃	1.0	1 = 3
	18.0	1 > 3; 2 > 4		2.5	1 > 3; 1 < 4
				5.0	1 < 4

鉬的分析 为了鉬的測定, 利用W₁、W₂和W₃三族光譜線(圖9和表2)。W₁族位於光譜的綠色区域, W₂族位於黃綠色区域, W₃族位於藍色区域中。当鋼中含有大量的鉬时, 光譜中有鉬線的光譜区的形狀就發生强烈的变化, 这是因为屬於鉬的附加光譜線的出現的緣故。此时寻找鉬線要特別仔細。

表 3

錳的測定

線族名称	Mn含量, %	光譜線强度的評定
Mn ₁	< 0.15	1 < 2; 5 < 6
	0.2—0.5	1 < 2; 5 > 6
	0.5—0.7	1 = 2
	> 1.0	1 < 2; 1 < 4
Mn ₂	約 3.0	1 = 4
	7.0	1 < 2
	14.0	1 > 4

錳的分析 为了錳的分析, 利用Mn₁和Mn₂兩族光譜線(圖10和表3)。Mn₁族位於光譜的藍色区域, Mn₂族位於黃綠色区域内。如果所研究的鋼中含有大量的鉬, 則光譜的形狀与測定鉬时一样, 即因鉬的附加光譜線的出現而發生强烈的变化。