

馬氏体相变的 金相研究

古里亞耶夫 著
彼屠尼娜



机械工业出版社

馬氏体相变的金相研究

古里亞耶夫 著
彼屠尼娜
金新 译

赠 茲大圖 七 館

康大韜

24/區-1959
於哈爾濱



机械工业出版社

1959

康大韜
Кан Да-Тас

內容簡介

本書內敘述了研究馬氏體相變使用的儀器的構造及金相研究的方法，敘述了關於鋼中馬氏體的形狀和結構、連續冷卻和恒溫停置時鋼中馬氏體相變過程的各種金相特點的研究結果，並且探討了馬氏體晶體的形成速度問題等。這些研究結果是作者們的關於馬氏體相變理論的實驗基礎之重要組成部分。

作者們提出了馬氏體相變的理論，這一理論的最重要部分是“由於奧氏體晶粒的范性形變而產生馬氏體晶核，滑移面成為馬氏體的晶核”的概念。

本書是供科學研究機構及工廠實驗室的工作人員用的，也可供高等學校教師及金相熱處理與金屬物理專業的学生參考之用。

蘇聯 А. П. Гуляев, Е. В. Петунина 著

*

*

*

NO. 1738

1959年4月第一版 1959年4月第一版第一次印刷

787×1092^{1/32} 字數47千字 印張4²/16 插頁29 0,001—5,100冊

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第008號 定價(11) 0.76元

目 录

緒言	5
I. 低温下奥氏体变为馬氏体的轉变之 研究方法	8
1. 膨脹分析法	8
2. 磁性分析法	8
3. 金相分析法	9
II. 研究的材料	18
1. 研究用的鋼及合金之選擇	18
2. 試样的热处理	19
III. 奥氏体变为馬氏体的轉变的金相研究 方法之探討	22
1. 借研究表面波动来显露相变的方法	22
2. 借补充侵蝕来显露相变的方法	23
3. 不同溫度下所形成的馬氏体的辨別	24
4. 低温下直接观察相变的方法	28
IV. 奥氏体变为馬氏体的轉变之研究	30
1. 馬氏体相变溫度区域的測定	30
2. 連續冷却时奥氏体变为馬氏体的轉变之研究	33
3. 室溫下奥氏体变为馬氏体的恒温轉变之研究	36
4. 0°C以下奥氏体变为馬氏体的恒温轉变之研究	37
V. 馬氏体相变的电影攝影	40
1. 普通的电影攝影	41
2. 快速的电影攝影	42
VI. 用垂直截面来确定組織組成物形状的方法	44

1. 方法的實質	44
2. 片的厚度的确定	46
VII. 馬氏体的組織	48
1. 馬氏体晶体的形状	48
2. 馬氏体片的結構	53
3. 馬氏体中的显微裂縫	55
VIII. 冷处理对工业用鋼的显微組織和硬度的 影响之研究	57
1. X12M号鋼	57
2. P9(ЭИ262)号鋼	61
3. 12X2H4A号鋼	62
4. 軋輥鋼	62
IX. 关于馬氏体相变的理論	63
参考文献	73
附录 · 显微組織照片圖	77

馬氏体相变的金相研究

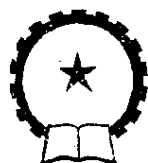
吉里亞耶夫 著
彼屠尼娜
金新譯

赠 茲大圖也館

康大韜

24/12-1959

哈爾濱



机械工业出版社

1959

康大韜
Кан Да-тао

內 容 簡 介

本書內敘述了研究馬氏體相變使用的儀器的構造及金相研究的方法，敘述了關於鋼中馬氏體的形狀和結構、連續冷卻和恆溫停置時鋼中馬氏體相變過程的各種金相特點的研究結果，並且探討了馬氏體晶體的形成速度問題等。這些研究結果是作者們的關於馬氏體相變理論的實驗基礎之重要組成部分。

作者們提出了馬氏體相變的理論，這一理論的最重要部分是“由於奧氏體晶粒的范性形變而產生馬氏體晶核，滑移面成為馬氏體的晶核”的概念。

本書是供科學研究機構及工廠實驗室的工作人員用的，也可供高等學校教師及金相熱處理與金屬物理專業的学生參考之用。

蘇聯 А. П. Гуляев, Е. В. Петунина 著

* * *

NO. 1738

1959年4月第一版 1959年4月第一版第一次印刷

787×1092^{1/32} 字數47千字 印張42^{2/16} 插頁29 0,001—E,1100折

機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第008號 定價(11) 0.76元

目 录

緒言	5
I. 低温下奥氏体变为馬氏体的轉变之 研究方法	8
1. 膨脹分析法	8
2. 磁性分析法	8
3. 金相分析法	9
II. 研究的材料	18
1. 研究用的鋼及合金之選擇	18
2. 試样的热处理	19
III. 奥氏体变为馬氏体的轉变的金相研究 方法之探討	22
1. 借研究表面波动来显露相变的方法	22
2. 借补充侵蝕来显露相变的方法	23
3. 不同溫度下所形成的馬氏体的辨別	24
4. 低温下直接观察相变的方法	28
IV. 奥氏体变为馬氏体的轉变之研究	30
1. 馬氏体相变溫度区域的測定	30
2. 連續冷却时奥氏体变为馬氏体的轉变之研究	33
3. 室溫下奥氏体变为馬氏体的恒溫轉变之研究	36
4. 0°C以下奥氏体变为馬氏体的恒溫轉变之研究	37
V. 馬氏体相变的电影攝影	40
1. 普通的电影攝影	41
2. 快速的电影攝影	42
VI. 用垂直截面来确定組織組成物形状的方法	44

1. 方法的實質	44
2. 片的厚度的確定	46
VII. 馬氏體的組織	48
1. 馬氏體晶體的形狀	48
2. 馬氏體片的結構	53
3. 馬氏體中的显微裂縫	55
VIII. 冷處理對工業用鋼的显微組織和硬度的 影響之研究	57
1. X12M號鋼	57
2. P9(ЭИ262)號鋼	61
3. 12X2H4A號鋼	62
4. 軋輥鋼	62
IX. 關於馬氏體相變的理論	63
參考文獻	73
附錄 · 显微組織照片圖	77

緒 言

奧氏體變為馬氏體的轉變是鋼的淬火的理論與實踐的一個中心問題。契爾諾夫 (Д. К. Чернов) 早已指出[1], 為了獲得淬火的状态, 必須將鋼快冷到 200°C 左右。後來, 發現在 200°C 以下發生所謂的馬氏體相變。烏拉爾金屬學派在施坦恩別爾格 (С. С. Штейнберг) 的領導下對馬氏體相變進行了許多杰出的研究 (參看[2], [3], [4], [5]等)。在本世紀三十年代中的這些研究, 查明了馬氏體相變的基本規律, 各種因素對這種相變的影響以及這種相變與鋼中別種相變不同的各種動力學特點。另一位卓越的蘇維埃研究家庫爾久莫夫 (Г. В. Курдюмов) 的一系列研究 (參看[6], [7], [8], [9], [10]等) 中揭示了馬氏體相變時原子排列的變化以及這種相變的物理-化學本質。

1927年, 庫爾久莫夫 (Г. В. Курдюмов)、古德錯夫 (Н. Т. Гудцов) 和謝里亞柯夫 (Н. Я. Селяков) 指出, 馬氏體是碳在 α -鐵中的固溶體, 它具有正方晶格。庫爾久莫夫 (Г. В. Курдюмов) 在以後的許多研究中揭示了馬氏體結構的一系列重要特點。這裡應該着重指出的是最近的庫爾久莫夫 (Г. В. Курдюмов) 關於馬氏體相變理論的研究 ([8], [9]等)。

研究馬氏體相變時大多數的研究是使用了各種間接方法 (磁性分析法, 膨脹分析法等), 這些方法都是以相變所引起的某種性質的變化為基礎的。雖然不能否認這些研究的巨大

重要性，但是应当指出，这些研究畢竟只能表明在試样整个体积內所發生的組織状态的平均变化，而这些方法却不能揭露这种相变的許多重要細節。正因为如此，虽然用間接方法对馬氏体相变进行了大量的研究，但这种相变的各个細節至今仍未被查明。

在相变發生时直接进行显微組織变化的观察，可以对一系列重要問題給出答案。只有在显微镜下直接观察相变的进程才能查明下列問題：馬氏体晶体是怎样产生的，相变是怎样發展的，是借各个馬氏体晶体的長大方式来实现呢，还是借形成新的馬氏体晶体的方式来实现呢？还有，馬氏体晶体的長大速度如何，它是否可以量度？在不同溫度条件下馬氏体晶体的形核速度如何？同时还可以查明一系列的其他問題。

本書的研究目的就是直接观察馬氏体相变过程的方法来修正关于馬氏体相变的現有的資料。

馬氏体相变的金相研究，有着極大的方法上的困难性，因为这种相变發生在与室溫不同的溫度下，而各个晶体的形成速度又是極其大的。在研究中需要選擇具有下面特点的材料作为研究的对象，即在这些材料中馬氏体相变伴有最大的金相效应，并且其馬氏体相变是發生在便于研究的溫度区域内。含碳量很高的鋼（1.6% C）。就是可以滿足这些要求的材料。

实验的很大一部分是用特別煉得的高碳合金进行的，这些合金的标号是Y15、Y16、16Г1和9Г5。这些合金的化学成分列于本書第二章中。

Y 16号鋼的馬氏体相变溫度区域是由 $+40^{\circ}\text{C}$ 到 -140°C 。16Г1号鋼的馬氏体相变的开始点約在 -50°C ，其終結点在

196°C以下。为了得到特别大的馬氏体晶体以便于研究其形成的动力学和馬氏体晶体的结构起见，特别培育了奥氏体晶粒使它长得很大。

实验所得到的数据，在不同程度上也可以应用到普通鋼中的馬氏体，因为普通鋼中的馬氏体沒有这样显明的馬氏体特性结构，因而不可能进行象这样詳細、全面的金相分析。

本书的研究查明了一系列用間接方法所不可能查明的馬氏体相变的重要特点。

1 低温下奥氏体变为馬氏体的轉变之研究方法

1 膨脹分析法

膨脹分析法广泛地用来測定鋼及合金的临界点。这种方法的依据是金屬中所發生的許多种內部轉变都往往伴有体积的变化。鋼的所有組織組成物中，以奥氏体的比容为最小，而馬氏体的比容为最大。因此，奥氏体轉变为馬氏体时，試样的体积發生特別大的变化。由此，就能利用膨脹法来研究奥氏体变为馬氏体的轉变。用膨脹法来研究相变的仪器其原理就是把試样在加热或冷却过程中体积的变化用特殊的傳动系統傳到記錄器上去，这个記錄器在長度—溫度坐标上画出曲綫来。米尔庚（И. Л. Миркин）和耶果罗夫（В. С. Егоров）[11]曾应用膨脹法研究过 0°C 以下的馬氏体相变。

虽然膨脹法是研究各种內部轉变的一种很灵敏的方法，但是同时它也具有严重的缺点。它的缺点之一，就是要想将由于轉变而得到的体积效应与由于热膨脹而得到的体积效应定量地分开，是困难的。所以，膨脹法基本上只是一种定性的方法。

2 磁性分析法

馬氏体是鉄磁相，而奥氏体是順磁相。这就使利用磁性分析法来測定它們的数量成为可能。鉄磁性組成物的数量，

是以試样的磁化量来表明。試样的磁化程度与鉄磁性組成物数量之間的关系，可以用各种方法来測定。用磁性分析法来研究馬氏体相变的絕大多數的實驗是用冲击法来进行的。畢格耶夫 (М. М. Бигеев) [12] 于 1937 年用冲击法所做的實驗乃是低溫馬氏体相变第一批研究中的一个。

磁性分析法的缺点，是其所測得的鉄磁相的数量是相对于基准而言的。所使用的基准本来应当由 100% 的馬氏体所組成，但是实际上，基准却含有某些数量的鉄磁性或順磁性的碳化物；而 α -相的磁性也不是固定不变的，它决定于預先的处理（退火、高溫回火等）。磁性分析法，也和其他間接方法一样，不能給出关于随相变而發生的組織变化的明确概念[●]。

3 金相分析法

直接观察时能够得到用任何其他方法所不能得到的資料。

直接的金相观察方法与間接方法相比之优点，在緒言中已經指出了；然而这里需要指出的是，直接金相观察的方法，虽然对相变进程能給出明确的概念，但是它不能定量地給出过程的特点。虽然近来探討了一系列的定量的組織分析法

- 曾有人試圖根据磁性曲綫計算馬氏体晶核的数目和結晶学方程式的参数 [9]、[10]。为此，把所形成的馬氏体量当作与晶核的数目成正比关系，換句話說，即認為馬氏体晶体的大小在所有轉变溫度下总是一定的。实际上，隨着相变的發展(降低溫度，參看后面第11圖等)所形成的馬氏体晶体要減小許多倍。因此，用某一假定的馬氏体晶体体积去除馬氏体数量并由此得出馬氏体晶核数目的这种做法是不对的，因而也不能仅仅以磁性曲綫作为結晶学計算的原始数据。晶核数目只能根据金相研究來确定。

(参看[13]中的例子)，然而这些方法还很繁杂并且目前还只适用于通常制备的磨片（即当組織是用侵蝕方法显露的，而不是用表面波动的方法来显露的）来进行組織組成物的定量分析。

用金相方法来研究不同于室溫的溫度下發生的相变，是需要一系列的預防措施的。当研究較高的溫度下發生的相变时，必須消除可能發生的氧化現象；当研究低于室溫的溫度下發生的相变时，必須創造条件以免除周圍空气中的水汽凝結在試样上。在这两种情况下，都应该將試样安置在沒有空气（高度真空）的空間內。

曾有过一些研究零下溫度显微組織所用的仪器，用这些仪器可以消除試样被水汽朦上的現象。奈齐（Найти）和繆列尔（Мюллер）^②（参看[14]）曾經构成了圖1所示的仪器。將試样4放在支架2上，支架2紧紧地擰到圓筒3上。外加螺帽5支撐着仪器于活动的三足架上，这个三足架可以安置在显微镜的載物台上。將圓筒內装满冷却剂來將試样冷却到低溫。

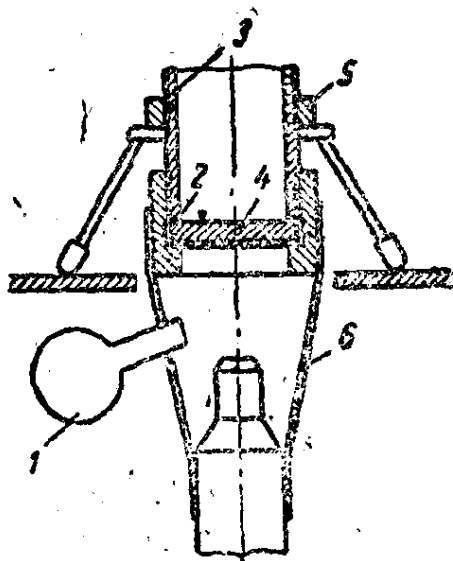


圖1 用显微組織分析法研究
低溫下的奧氏體→馬氏體
轉變的仪器（奈齊和繆列
尔）。

为了消除水汽在試样上凝聚起見，支架与物鏡用橡皮套6連接在一起。在橡皮套上插入

② Найти и Мюллер 在原論述中为：Knight 和 Müller。——譯者

一个内装五氧化二磷的小玻璃瓶 1。該二作者指出，用这个仪器，他們在拋光的磨片表面上能观察到馬氏体針的形成过程。不过，在所發表的論文中，任何一个表明冷却时馬氏体針形成的金相照片也沒有列出。

为了研究溫度低于 0°C 的相变，曾創造各种仪器，根据創造的經驗，可以断言，利用圖 1 所示的仪器来观察冷却过程中的相变，如果說是能进行的話，那末也仅是当溫度低于室溫不太多而且是在很短的时间內进行。

用干燥剂（五氧化二磷）来排除試样和物鏡之間的空間内的水汽这件事，在我們的实验中未給出滿意的結果。为了消除朦上水汽的現象，必須造成高度的真空。

將試样和物鏡之間的空間与周圍的空气相隔絕的橡皮外罩，当冷却到的溫度还不太低时，就已經不可避免地变硬而不能进行聚焦的工作了；而当冷却到溫度很低时，張紧处（橡皮外罩与試样、物鏡、以及与吸去水汽用的小瓶相連接的地方）就破裂了。工作时金屬圓筒和仪器的其他部件被冷却并冻上一層冰。可以認為，用这个仪器，什么研究也不能进行，因为这在技术上簡直是不可能的。

为了研究銅合金中的馬氏体相变，庫尔久莫夫（Г. В. Курдюмов）和汗德罗斯（Л. Н. Хандрос）[15]在苏联科学院金屬物理實驗室中应用了圖 2 上所示的真空箱。

真空箱由以下几种金屬零件构成：底座 8 和上盖 6。上盖 6 用螺絲通过橡皮垫紧紧擰在底座上。

德銀管 9 和連結到真空泵上去的管 7 都焊在底座中。將銅棒 1 安置在管 9 的軸綫上，銅棒 1 的中部焊到管 9 的下端上。銅棒的上端作为試样 3 的支架，試样上焊一热电偶 2；

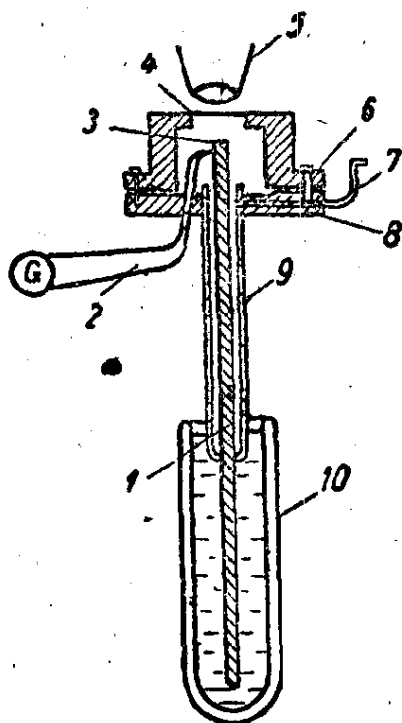


圖 2 用显微組織分析法研究低溫下的馬氏体相变的真空箱（庫尔久莫夫和汗德罗斯）。

热电偶 2 經過真空箱的底座連到电流計上去。

真空箱的上盖上有
一个玻璃窗 4，用以借显微鏡（物鏡 5）来觀察相变。試样的冷却，是将銅棒浸入容器 10 中的液态氮中来实现的。

用这个仪器能够进行銅合金冷却时的一系列有意义的观察。

但是，这个仪器所用的放大倍数沒有超过 63 倍。进行观察的时间不能連續太長，因为時間長了仪器的金屬零件、焊

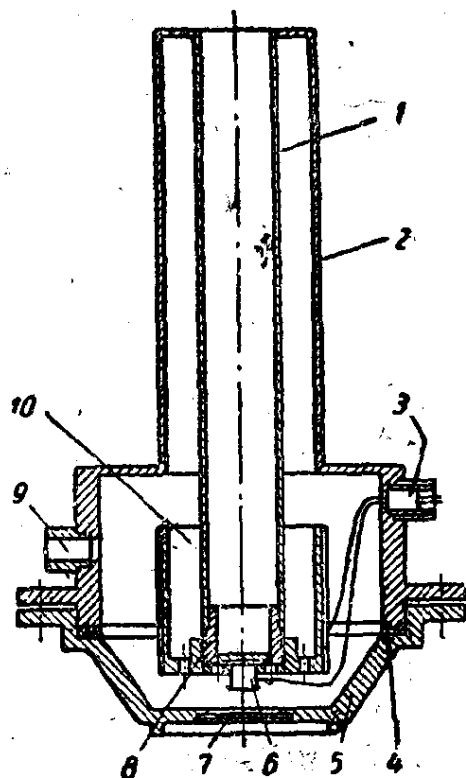


圖 3 用显微組織分析法研究低溫下的馬氏体相变的真空箱（哥洛夫契聶尔）：

1—透磁合金管；2—真空箱的外壳；3—热电偶的引出口；4—橡皮垫；5—盖；6—試样；7—玻璃片；8—銅制塞座；9—抽空气的口；10—爐。