

金属的高温机械试验

A. M. 包尔兹迪卡 著

孟 繁 杰 译



冶金工业出版社

金屬的高溫機械試驗

A.M.包尔茲迪卡 著

孟繁杰 譯

冶金工業出版社

在本書中說明了金屬的各種高溫機械試驗的方法；敘述了這類試驗所用的試驗機和試驗儀器；在進行這些試驗的技術方面，給了具體的指示；並且闡明了合理選擇試驗方法的基本原則。

本書供工廠和研究機關實驗室的工程技術人員用，也可供冶金和機械製造類高等工業學校和中等技術學校學生參考。

А. М. ВОРЗДЫКА

МЕТОДЫ ГОРЯЧИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ (Москва—1955)

金屬的高溫機械試驗

孟繁杰 譯

編輯：黃錫橋 設計：趙香苓、周廣珍 責任校對：夏其五

1957年9月第一版 1958年6月北京第二次印刷1,000冊（累計2,233冊）

850×1168·1/32·280,000字·印張 $11\frac{4}{32}$ ·定價(10) 1.90元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0681

冶金工業出版社出版（地址：北京燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

金屬的高溫機械試驗

A.M.包尔茲迪卡 著

· 孟繁杰 譯

冶金工業出版社

在本書中說明了金屬的各種高溫機械試驗的方法；敘述了這類試驗所用的試驗機和試驗儀器；在進行這些試驗的技術方面，給了具體的指示；並且闡明了合理選擇試驗方法的基本原則。

本書供工廠和研究機關實驗室的工程技術人員用，也可供冶金和機械製造類高等工業學校和中等技術學校學生參考。

А.М. ВОРЗДЫКА

МЕТОДЫ ГОРЯЧИХ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛОВ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ (Москва—1955)

金屬的高溫機械試驗

孟繁杰 譯

編輯：黃錫橋 設計：趙香荅、周廣珍 責任校對：夏其五

1957年9月第一版 1958年6月北京第二次印刷 1,000冊（累計 2,233冊）

850×1168•1/32•280,000字•印張 $11\frac{4}{32}$ •定價(10) 1.90元

冶金工業出版社印刷廠印

新華書店發行

書號 0681

冶金工業出版社出版（地址：北京燈市口甲45號）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093號

目 录

序言	6
第一章 概論	8
一、試件加热方法	8
1. 用气体噴嘴加热	8
2. 在电爐中加热	9
3. 在气体加热箱中加热	15
4. 在浴爐中加热	17
5. 用电流加热	21
二、試驗的溫度狀況	23
1. 控制溫度的方法	23
2. 測定溫度的方法	28
三、变形大小的測定	24
1. 用垂高仪測定变形	34
2. 用千分表測定变形	36
3. 用鏡式伸長計測定变形	38
第二章 短时拉伸試驗	41
一、試驗設備	42
1. 加荷重的机构和夾具	42
2. 試件的形狀和大小	48
3. 加热設備、溫度控制設備及高溫測量設備	50
4. 測定变形用的仪器	56
二、由拉伸試驗所决定的性質及影响它們的因素	60
1. 强度極限	60
2. 比例極限和彈性極限	64
3. 屈服極限	65
4. 伸長率和断面縮率	70
5. 彈性系数	73
三、資料的整理和結果的評價	78
1. 結果的整理	78
2. 結果的評價	85
第三章 長时拉伸試驗 (蠕变、松弛、長时强度)	89

一、蠕变和长时强度試驗用的設備	90
1. 加荷重機構	90
2. 試件的形狀和大小	118
3. 加熱設備、溫度控制設備及高溫測量設備	121
4. 測定蠕变变形用的儀器	140
5. 蠕变和長时强度試驗實驗室的設備	152
二、長时拉伸試驗的方法	156
1. 等溫試驗法	158
2. 松弛試驗法	163
3. 膨脹試驗法	165
4. 長时强度試驗	166
5. 減时試驗法	168
三、影响金屬和合金的蠕变和松弛的因素	174
四、資料的整理和結果的評價	182
1. 曲綫和圖表的繪制	183
2. 附加数据和結果的評價	190
3. 蠕变特性与其他性質之間的关系	192
4. 作为物理-化学分析法的蠕变和松弛試驗	198
第四章 扭轉試驗	204
一、試驗設備	204
1. 加荷重機構	204
2. 試件的形狀和大小	213
3. 測定变形用的儀器	215
4. 加熱設備、溫度控制設備及高溫測量設備	221
二、影响試驗結果的因素	223
三、資料的整理和結果的評價	226
第五章 弯曲試驗	233
一、一般的弯曲試驗法	233
二、环形試件的弯曲試驗法	237
三、离心弯曲試驗法	242
四、資料的整理和結果的評價	243
第六章 冲击試驗	249
一、試件和缺口的大小和形狀	250

二、試件的加熱和溫度的測定	254
三、資料的整理和結果的評價	262
第七章 疲勞試驗	267
一、疲勞試驗用的設備	267
1. 疲勞試驗機	267
2. 試件的形狀和大小	279
3. 加熱設備、溫度控制設備及高溫測量設備	282
二、影響試驗結果的試驗方法上的因素	288
1. 試驗方法上的一般問題	288
2. 應力集中的影響	289
3. 環境介質的腐蝕作用	290
三、資料的整理和結果的評價	291
1. 曲線和圖表的繪制	291
2. 結果的評價	293
第八章 硬度試驗	299
一、試驗方法	299
二、試驗設備	301
1. 加荷重機構	301
2. 壓頭	304
3. 加熱設備和高溫測量設備	306
4. 冷卻設備	311
三、影響試驗結果的試驗方法上的因素	312
四、資料的整理和結果的評價	316
第九章 其他形式的高溫機械試驗	324
一、壓縮試驗	324
二、管類的高溫機械試驗	327
三、鋼在靜力負荷下的熱脆性試驗	334
四、鋼的熱脆性沖擊試驗	338
五、熱疲勞性（熱耐久性）試驗	347
六、金屬絲的耐用性試驗	349
參考文獻	352

序 言

鍋爐汽輪機製造業、化工設備製造業、煉油工業、工業用爐建造業以及許多其他工業部門的廣泛發展，都是與在高溫下工作的材料日益增長的应用分不開的。

多年以來，國內外的許多科學研究機關和工廠實驗室，就從事於金屬高溫機械試驗的研究，並且已在這一方面取得了重大的成就。

蘇聯學者們曾設計了不少高溫機械試驗機和試驗儀器，並創造了原理新穎的許多高溫試驗的方法。在此，應當指出 A.A. 包奇瓦爾的長時硬度法、И.А. 奧金格的環形試件法和 И.И. 柯爾尼洛夫的離心力法。

本來着重在蠕變、松弛和長時強度等試驗法的研究；但在實驗室實際工作中，其他高溫機械試驗法——靜力試驗（拉伸、扭轉、彎曲和硬度等試驗）和動力試驗（彎曲和拉伸試驗），也同樣地獲得了廣泛的应用。高溫疲勞試驗更佔有特殊的地位。總之，對確定高溫強固合金完備的機械性質來說，這些方法中，大多數都具有十分重大的意義。

在本書中，作者敘述了各種最重要的金屬高溫機械試驗法，在寫作過程中引用了作者本人在這方面的多年經驗和豐富的文獻資料。

至於金屬合金高溫強固性的物理本質的闡明，高溫塑性（蠕變和松弛）機構的研究，以及最後各種高溫試驗結果在設計計算上的应用（特別是這些計算的方法）等內容，都未被包括在本書範圍之內。

在本書中也沒有討論溫度對金屬和合金機械性質的影響。本書對這類問題僅涉及到這種程度，即為了說明各種高溫試驗法所需要的一些知識。

作者在闡述本書材料時，是由這樣一個假定出發，讀者已經充分熟悉了一般的金屬機械試驗法，那怕是在通俗手冊的篇幅中

提到的。因此在高溫試驗中，若用到一般的各種機器和儀器，例如油壓式萬能試驗機，ЦНИИТМАШ型拉伸試驗機和擺式沖擊試驗機等，都沒有討論它們的構造，僅將它們在高溫試驗中的適用性予以評價，並介紹了必要的輔助夾持工具。

在本書第一章中，說明瞭對各種高溫試驗有共同性的一些問題：試件加熱方法、溫度的控制和測定以及微小變形的測定等，作者認為這是適當的。書中其餘各章則討論各種高溫機械試驗法和它們的一些特點。這幾章照例地都是依同一格式編寫的，除了實在不可能保持這種格式時。

作者謹向為校閱本書付出繁重勞動的技術科學候補博士 М. И. 別爾恩施欽和幫助選擇某些材料的工程師 А. Н. 雷利尼柯夫表示謝意。

第一章 概 論

一、試件加熱方法

進行高溫機械試驗時，可用下列幾種方法來加熱試件：1) 用氣體噴嘴的火焰；2) 在電阻爐中；3) 在熔融的鹽類或金屬的浴爐中；4) 在充滿特殊氣體介質的加熱箱中；5) 直接將電流通過試件。

各種試件加熱法，基本上可分為兩類：1) 加熱試件直接受到周圍空氣的作用；2) 用液體的或氣體的热套將試件與大氣隔絕。

當試件直接受大氣作用時，很難使試件溫度保持穩定不變和避免試件氧化。因此在實驗室工作中，第二類的各種方法便獲得了最普遍的應用。

1. 用氣體噴嘴加熱

利用氣體噴嘴加熱，是金屬高溫試驗時的一種最古老的試件加熱方法，早在上一世紀90年代已被應用到實驗室工作中了。

這種方法的基本缺點是：1) 難以在試件整個長度上獲得均勻一致的溫度；2) 在試驗過程中，不易保持穩定的溫度，特別在長時試驗時更是如此；3) 有氣體燃燒產物的腐蝕作用，空氣自由到達試件表面的情況更增強了這種作用。將試件裝在石棉或金屬制的保護管中，可以克服後面一個缺點；這種措施也便於使試件保持均勻的溫度。

萬杰爾蓋姆裝置〔1〕^①可作為高溫機械試驗時利用氣體噴嘴加熱試件的一個例子，這種裝置是早在1896年製造的（圖1）。

將在爐子1中加熱了的空氣打入管2內，再使其經過聯結管3流入內管和外管5之間的空間中，內管由石棉板製成，用來保護試件6。將廢氣引入管4中。沿試件長度上，就用普通水銀溫度計在三點上測定溫度，因為在這些最早的高溫拉斷試驗設備

① 方括號內數字表示參考文獻的編號——譯者。

中，加热温度都不超过 250°C ，同时温度计的球部不碰到试件表面，而与石棉保护管接触。

用煤气火焰加热试件的方法，主要是具有历史上的意义；但是在极少个别情况下，现在也还有使用的。

2. 在电炉

中加热

在现代金属高温试验工作中，各种电阻炉是最通行的加热设备。

在作冲击、硬度、疲劳和不测定微小变形的拉伸等试验时，普通实验室用的电阻炉都是非常适宜的，这种炉子大都是管式的，但也有马弗式的，炉内带有镍铬合金或铂制的加热线圈。这种炉子经过稍微修改后就可以立即用到上述的各种高温机械试验中。

选择炉子尺寸时，应当由所用试件的大小出发，为了能均匀加热试件起见，炉子的长度应当等于试件计算长度的 3—5 倍，即

$$L = (3-5) l_0$$

炉子的马弗管内径

$$D = (5-10) d,$$

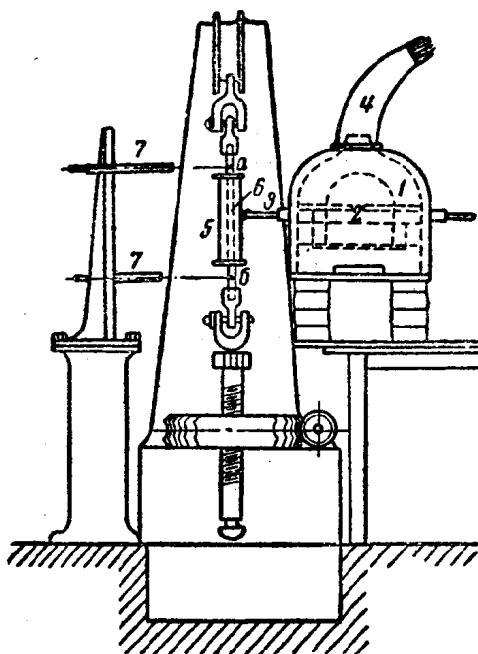


圖 1 最早的一种用气体喷嘴加热试件的高温机械试验设备

式中 d ——試件直徑；

l ——試件工作長度（即計算長度——譯者）。

為防止在試件破斷時損傷爐子的陶瓷馬弗管起見，推薦在爐子中插入一條保護管。此管由鐵、銅、鎳或不銹鋼制成，做成與爐子內徑相同的大小。另外，因為這種插入管是一種導熱性很好的隔層，所以也可以促進爐膛內熱量的均勻分佈。

但是這種管式電爐的構造，一般都是加熱線圈均勻地分佈在爐管整個長度上，這樣便有一個非常嚴重的缺點——爐管兩端的溫度總是低於中部。因為溫度會嚴重地影響到金屬的機械性質，所以當使用沿長度上加熱不均勻的試件作試驗時，就不可能得到正確的結果。

可見，對於比較精確的試驗，要測定試件的微小變形時，就不能採用一般的管式電爐。實際經驗證明：使用精密伸長計時，沿試件長度方向的溫度差不能超過 3°C ；作長時間蠕變試驗時，在均勻加熱試件方面，還要提出更嚴格的要求。但是據我們的研究，普通管式電爐的中部與兩端之間的溫度差卻是 $20-40^{\circ}\text{C}$ （圖 2）。

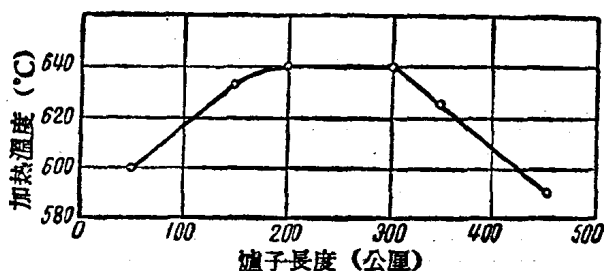


圖 2 臥式管式電爐爐膛內的溫度分佈情形
（試件試驗溫度 640°C ）

因此，大都要為金屬高溫試驗製造一些專用的爐子，以保證溫度能沿整個試件長度（或高度）均勻分佈。

在許多新式構造的實驗室用爐中，常用以下幾種方法達到試件的均勻加熱 [33]。

1. 將爐膛長度做得遠大於試件的計算長度（例如 5 倍），而其內徑則相反地力求縮小，但不能使夾在試件上的變形測量設備接觸爐子的管壁。在表 1 中介紹了用來加熱金屬試件的爐子外形尺寸。

表 1

金屬高溫機械試驗用管式電爐的尺寸

試驗種類	試件		爐子		尺寸比		試驗機型號
	直徑 d (公厘)	計算長度 l (公厘)	內徑 D (公厘)	長度 (高度) L (公厘)	$\frac{D}{d}$	$\frac{L}{l}$	
短時拉伸試驗	6	33	34	175	5.7	5	ИМ-4Р
	6	60	50	280	8.3	4.7	—
	10	50	67	235	6.7	4.7	—
	10	100	75	400	7.5	4.0	—
長時強度試驗	5	25	35	230	7.0	9.2	ЯБ-1
	10	50	40	300	4.0	6.0	ВП-3
	5	25	55	220	11	9.0	ЦКТИ-750
拉伸蠕變試驗	10	100	70	500	7.0	5.0	МИС-1
	10	100	75	400	7.5	4.0	—
	10	100	80	560	5.6	5.6	ДСТ-5
	10	150	90	500	9.0	3.3	ИП-2
	10	200	90	550	9.0	2.7	—
	15	125	87	450	5.8	3.6	—
扭轉試驗	10	100	60	500	6.0	5.0	МИС
疲勞試驗	6	20	30	125	5.0	6.2	ГНИИ
	7.5	96	30	90	4.0	~1	—
	10	100	150	440	15	4.4	—

2. 使電阻綫圈不均勻地分佈在爐管上：在爐子下部最密，上部較稀，而在爐子中部試件計算長度所在的地方最稀（圖 3, a）。如果在高溫試驗時管式爐水平放置，由爐子兩端散熱的條件大致相同時，則可使電阻綫圈數在爐子兩端相同，但中部圈數稍少一些。一般來說，管式電爐水平放置時比垂直放置容易使溫度沿爐子縱長方向保持均勻分佈。

3. 使爐子的整個綫圈由幾個（一般是 2—3 個）獨立的分組電路並聯而成（圖 3, б）。每一分組具有獨立的變阻器，可用來改變該組的電流強度而不影響到他組。這樣，就能在爐子整個長

度上达到均匀一致的温度。圖 4 表示这类三組电爐的一种構造（用於拉伸試驗）。

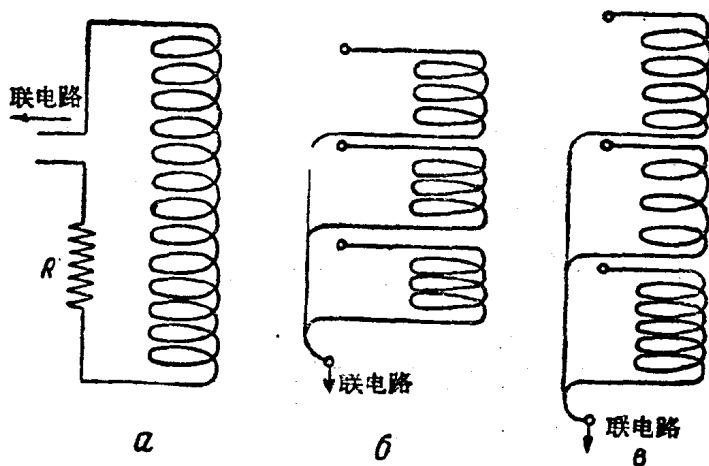


圖 3 管式电爐中电阻綫圈的各种式样

4. 使三組电爐的电阻綫圈分佈得不均匀（圖 3, b）。所推荐的上、中、下三組綫圈圈数的比率为 2 : 1 : 3。

5. 在分組电阻爐中，各組加热綫圈分別由直径不同的金属絲（例如：0.8、1.0、1.2 公厘）制成，同时使各組綫圈中的圈数大致保持相等。

6. 在爐子的耐火管（由陶瓷、耐火黏土或鋼鋁石制成）中，插入一根由耐热鋼、銅或鎳的薄片制造的管子；这种导热隔層可以促进温度沿爐長均匀分佈。在圖 4 所示的爐子中，为了这个目的而採用了厚 0.5 公厘的銀管。

7. 將电阻絲隔着一層优良的絕緣材料（云母）纏繞在由金屬（高溫强固鋼、銅、鎳等）制造的爐管上，或者將电阻絲穿上一些管狀陶瓷絕緣体——“瓷珠”。

后一种方法有許多优点，大都用在做長时試驗用的爐子中。应用金屬管还可以使我們能利用爐管本身膨脹計式的伸縮，来控制温度。

有些情況下，採用各種對開式爐子，這種爐子是由兩半個組成的，可以沿對開面打開，對開面貫通整個爐子長度（圖 5）。這類爐子很便於安裝試件，但也有一個嚴重的缺點：爐膛內的溫度不易達到均勻分佈。

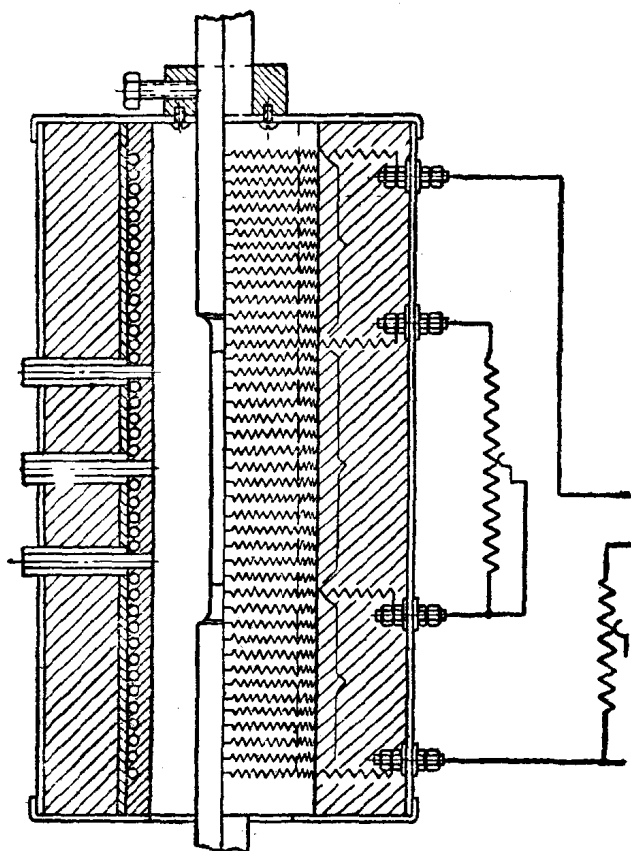


圖 4 高溫拉伸試驗用三組立式電爐

為了克服這一缺點，可在對開式爐中附加若干分組加熱元件，而且使各組分別調節互不影響。因此，時常採用可拆式分組加熱元件（圖 6），這種加熱元件極便於爐子的製造和修理。

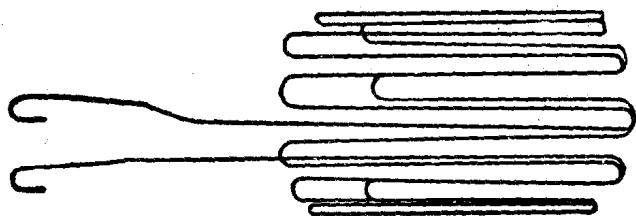


圖 6 可拆式电
加热元件

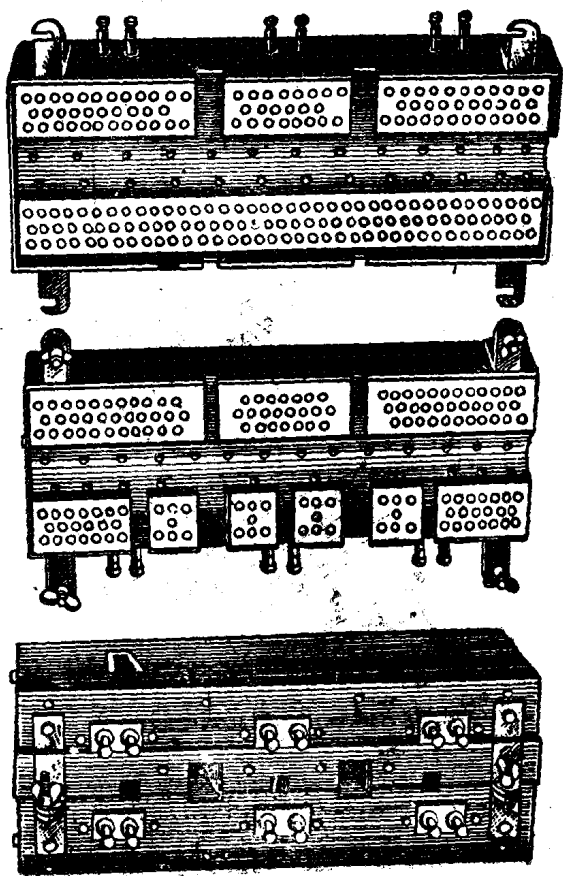


圖 5 高温机械試驗用对开式电爐