

# 金工工藝

孫成璠編

龍門聯合書局出版

# 金 工 工 藝

孫 成 璠 編

---

★ 版權所有 ★

龍 門 聯 合 書 局 出 版

上 海 南 京 東 路 61 號 101 室

中 國 圖 書 發 行 公 司 總 經 售

---

1951 年 9 月 初 版

印 數 6501-8500 册

1953 年 4 月 四 版

新 定 價 卣 31,000

## 序

隨新中國誕生而來之最大問題，厥為改變落後之農業國為工業國，工業建設之先決條件須有足夠之工業原料及優良之工程人員。工程人員之任務又不外設計與製造二種。欲使其能勝任此項工作，則對工業材料之性質及加工方法必須有一明確之認識，始能掌握設計及製造之技術。金工工藝一科即為解決此問題而設，歐陸各國之工科學及專科皆列為兩年之必修課程。同濟大學因係採用德制教學，歷來設有此項課程。編者執教該校適即擔任此課。所選教材即德國各工業學校所用之教本。課餘之暇整理所授教材復結合十餘年之工廠經驗，編成此書，以供學習機電船工程人員用作參考。本書內容計分為四章十三節；第一二兩章為重要機械工業材料鋼鐵及合金等之冶煉，性質分類及其檢驗方法。第三章為材料之加工方法，包括鑄，鍛，壓衝，抽拉及焊工。第四章為金屬材料之熱處理法。各種資料雖因限於篇幅未能一一包羅，但所選內容皆為各有關部門之精華而為工程人員所必須知曉者。所舉圖例亦多含有代表性，解說詳明，易於了解。本書可作大學及專科之教本，亦極合工程人員自修研讀之用，惟以匆促付印，錯漏難免，尚祈海內學者予以指正為感。

編者識於同濟大學工學院

1951.1.29.上海

### 參考資料

1. Paul Schimpke: Technologie der Maschinenbaustoffe (機械工業材料工藝學).
2. Hermann Meyer: Lehrbuch der mechanischen Technologie der Maschinenbaustoffe. 機械工業材料之工藝學教本).
3. K. Sauer: Leitfaden der Hüttenkunde für Maschinentechniker. (機械工程人員用冶煉學簡篇).
4. Ludger Frede: Gießereikunde. (鑄造學).
5. Stahl und Eisen. (德國鋼鐵雜誌).
6. Konstruktion. (德國建造設計雜誌).

# 目 錄

概 論	1
第一章 材料學	2
第一節 燃燒, 燃料	2
1. 熱之產生	2
2. 溫度測定	5
3. 燃料	8
4. 燃燒爐設備	18
5. 燃燒空氣量, 廢氣量	21
6. 製爐材料	23
第二節 鋼 鐵	25
1. 鋼鐵之歷史	25
2. 鋼鐵之分類	26
3. 生鐵(銑鐵)	27
a. 原料	27
b. 製鐵廠	30
c. 高熔爐作業	36
d. 高熔爐產品	42
e. 電高熔爐	49
4. 鋼或可鍛之鐵	51
a. 冶煉之一般程序	51
b. 攪煉爐冶煉法	53
c. 銑鐵混合器	58
d. 空氣精煉法	58

e. 火礮爐精煉法, 平爐煉鋼法	64
f. 坩鍋鋼	70
g. 電爐鋼	71
h. 鋼錠之鑄造	77
i. 加礮法, 色門法	79
j. 鋼之性質	80
k. 鋼之標準分類	83
第三節 非鐵金屬	90
1. 銅	90
2. 鉛	93
3. 鋅	95
4. 錫	97
5. 輕金屬	78
6. 工業用其他重要金屬	101
第四節 合金	104
1. 概論	104
2. 合金之冷凝情形	105
a. 金屬材料之冷凝曲線	106
b. 冷凝情況表示圖	108
c. 鐵碳合金冷凝情況表示圖(鐵碳平衡狀態圖)	115
3. 鐵合金之金相學	121
4. 合金之性質	121
5. 工業上用之重要合金	123
a. 銅錫合金	123
b. 銅鋅合金	125
c. 銅鎳合金	127
d. 莫奈爾合金	128
e. 鋁合金	128
f. 特殊合金及其他合金	132
第五節 金屬之表面保護法	134

1. 概論	134
2. 鋼鐵表面保護法	135
3. 非鐵金屬之防銹腐法	138
第六節 工業上其他重要材料	139
1. 木材	139
2. 皮料	139
3. 橡皮	139
4. 人造機械工業用材料	141
5. 潤滑材料	144
<b>第二章 材料試驗概要</b>	<b>151</b>
第一節 鋼鐵試驗	151
1. 斷面組織檢驗	151
2. 化學分析試驗	151
3. 強度試驗	151
a. 靜力試驗	151
b. 動力試驗	155
c. 耐勞試驗	156
4. 工藝性材料試驗	157
5. 其他不損工件之檢驗	159
<b>第三章 材料加工法</b>	<b>160</b>
第一節 鑄工	160
1. 鑄造用金屬主要之性質	160
2. 鑄造用之原料	165
3. 鑄工用熔爐	175
4. 模型	185
5. 砂型製造	188
a. 型砂	188
b. 製型工具	193

c.	地坑製型法	191
d.	砂箱製型法	195
e.	刮板製型法	203
f.	鑄管法	201
g.	機器製型法	205
6.	粘土製型法	221
7.	烘乾設備	222
8.	金屬鑄型	223
9.	砂箱受力情形	224
10.	熔蠟製型法	226
11.	鑄件廢品之成因及補救法	227
12.	鑄鐵之澆注	29
13.	鑄件之修整	231
14.	展性鑄鐵及其鑄法	233
15.	鑄鋼法	236
16.	五金鑄法	241
17.	壓射鑄法	245
18.	鑄工廠設備及安全保護要點	248
第二節	鍛工	250
1.	概論	250
2.	鍛工爐	253
3.	鍛工工具及手鍛法	257
4.	機器鍛工	259
5.	壓鍛機	273
6.	鍛壓工作法	281
7.	鍛製機	285
8.	非鐵金屬及合金之壓製法	289
第三節	軋軋	293
1.	概論	293
2.	滾筒	293



3.	軋軋廠之分類	295
4.	軋軋廠設備	296
5.	軋軋機附件	298
6.	軋軋廠之施工情形	299
7.	特種軋軋廠	301
第四節	鋼管製造法	304
1.	焊製法	304
2.	無縫鋼管製造法	307
3.	非鐵金屬管製造法	313
• 第五節	金屬材料之冷狀加工	313
1.	概論	313
2.	冷軋法	315
3.	冷拉法	315
4.	衝床工作法(沖床)	317
第六節	焊工	325
1.	概論	325
2.	壓焊法	327
3.	氣熔焊法	328
4.	電熔焊法	344
5.	電阻焊法	349
6.	鉛熔焊法	353
7.	異料焊法(媒焊法)	354
8.	氧氣燒割法	357
第四章	鋼料之熱處理	360
1.	煨火(正常化)	360
2.	淬火及退火	361
a.	淬火及退火之定義	361
b.	淬火之原理	391
c.	淬火工場及作業	365

d. 退火.....370

e. 表面淬火.....871

3. 調質.....373

## 概 論

工藝學——凡使一切天然原料經各種加工法後成爲可用之物者，皆謂之爲工藝學。——所包括之範圍極廣。主要者可分爲機械工藝學及化學工藝二類：

第一類乃指物質之外形經各種加工發生變化而言。第二類則須使物質內部起化學變化並改變其組織。如鋼鐵之冶煉屬於化學工藝學，而鑄、鍛、輓卽爲機械工藝學。其他如製酸，釀酒，染料等則純屬化學工藝學（簡稱化工）。機械工藝學中又因原料之不同而分爲：金工，木工，纖維質，粒體等工藝學。本書則專就金工工藝學部份加以闡述，且尙限於原料加工之無切屑部份。至於用工具切割部份則另有專書，不在本書範圍之內。

機械工藝學之金工部份，尙可分爲如下諸節：

1. 金屬材料之因其有可熔性而加工者——鑄工。
2. 金屬材料之因其有可塑性而加工者——鍛，輓，壓，抽。
3. 金屬材料之因其有可切割性而加工者——用各種工具機之加工。

# 第一章 材料學

## 第一節 燃燒：燃料：

(1) 熱之產生： 在一切原料冶煉及加工中所需熱量之來源為：

甲，燃料； 乙，電熱力； 丙，原料內部物質變化所生之熱。

燃燒——化學上一切物質之氧化謂之燃燒，氧化時必發出熱量。燃料經氧化產生熱量，原料內如含有矽，錳，磷等物質在煉鋼過程中亦可經氧化而發生熱量。燃料中所含可供氧化之主要元素為碳(C)氫(H)，此外為硫(S)，此等元素經氧化後全部變為碳酸氣( $\text{CO}_2$ )，水( $\text{H}_2\text{O}$ )及二氧化硫( $\text{SO}_2$ )者，稱之為「完全之燃燒」。若一部份碳素僅變為一氧化碳，則稱之為「不完全之燃燒」。例如，在一切燃燒爐內為產生最大熱量，要求一完全之燃燒以盡量利用其可燃燒之物質，並力求燃燒效率之增高亦即減少熱量之損失。但在煤氣發生爐內則必須有一不完全之燃燒以產生貴重之可燃氣體(CO)。各種不同之燃料須達一定高之溫度始能開始燃燒。如木材為 $250^\circ\text{C}$ — $300^\circ\text{C}$ ，煤為 $400^\circ\text{C}$ — $500^\circ\text{C}$ ，焦炭為 $690^\circ\text{C}$ — $740^\circ\text{C}$ ，石油為 $380^\circ\text{C}$ ，煤氣為 $650^\circ\text{C}$ 。此種溫度稱之為「引燃溫度」。供燃燒所需之氧素一般取自空氣中，因空氣中氮素甚多故欲使燃燒完全，必須使大量空氣達於爐內，大部係用鼓風機自爐柵下方壓入爐內，或用抽氣機裝在煙道處以使大量空氣吸入爐內（如鍋爐，熔爐等）。混於火焰內尚未發生氧化作用之氧素若遇溶化之鐵液則鐵亦發生氧化（如平爐煉鋼法）。此種火焰稱之為「氧性火焰」(oxydierende Flamme)反之若空氣供給太少時，則須自熔液狀之金屬內吸取氧素以供燃燒（如氣焊之火焰），稱之為「還原性火焰」(reduzierende Flamme)。

熱量——物體經過完全燃燒所發生之熱量稱之為「燃燒熱」或「熱

量」，並以燃料一公斤或一立方公尺之熱量用單位( $WE$ 或「尅卡」(kcal)表示之，此熱量單位( $WE$ )或尅卡，係以一公斤之水(在 $15^{\circ}\text{C}$ 時)加熱使溫度增高一度所需之「熱量」。

熱量尙可分爲上熱量( $H_o$ )及下熱量( $H_u$ )；上熱量爲燃燒物冷卻至 $0^{\circ}\text{C}$ 時所含之熱量，但實際上燃燒物皆化爲 $100$ 度以上之氣體而去，故實用時一般皆以下熱量爲準。下熱量較上熱量爲小，其熱量差數即等於將燃燒物中所含之水分化爲蒸汽所需之熱量，因一公斤之水自 $15^{\circ}\text{C}$ 加熱使變爲蒸汽所需之熱量係爲 $600$ 熱量單位( $WE$ )，則上熱量與下熱量間之關係如下：

下熱量 = 上熱量 -  $600 \times 1$  公斤燃料中所含之水分量。

$$H_u = H_o - 600 \times W; \quad W \text{ 以公斤代入。}$$

在工業計算中一般皆以下熱量爲標準。茲將工藝學中有關物質之熱量略舉例如下：

1 公斤碳素(C)燃燒爲(CO)	得 2430 熱量單位( $WE$ )
1 公斤碳素(C)燃燒爲( $\text{CO}_2$ )	得 8100 熱量單位( $WE$ )
1 公斤一氧化碳(CO)燃燒爲( $\text{CO}_2$ )	得 2480 熱量單位( $WE$ )
1 公斤氫素(H)燃燒爲( $\text{H}_2\text{O}$ ) (水汽)	得 29030 熱量單位( $WE$ )
1 公斤矽素(Si)燃燒爲( $\text{SiO}_2$ )	得 7830 熱量單位( $WE$ )
1 公斤磷素(P)燃燒爲( $\text{P}_2\text{O}_5$ )	得 5900 熱量單位( $WE$ )
1 公斤錳素(Mn)燃燒爲( $\text{MnO}_2$ )	得 2200 熱量單位( $WE$ )

此類元素之上熱量及下熱量(除氫素外)皆相同。此處之氫熱量係下熱量，應注意者此處物質係以重量計算，若以容量計算之則一立方公尺之氫素僅能有 2950 尅卡。茲例舉數種物質之容積重量如下：

1 立方公尺( $\text{m}^3$ )氫素 (H)之重量爲	0,09 公斤
1 立方公尺( $\text{m}^3$ )—氧化碳(CO)重量爲	1,25 公斤
1 立方公尺( $\text{m}^3$ )碳酸氣 ( $\text{CO}_2$ )重量爲	1,98 公斤
1 立方公尺( $\text{m}^3$ )氧素 (O)重量爲	1,43 公斤
1 立方公尺( $\text{m}^3$ )空氣 之重量爲	1,293 公斤

熱量之測定——各種燃料之熱量可用燃燒法測定之 (測熱量器 Kalorimeter), 或以其化學結合式計算之, 後者用於計算石炭及液體燃料, 並以一特定之公式:

$$H_u = 81C + 290\left(H - \frac{1}{8}O\right) + 25S - 6W$$

計算其下熱量, 此式為國際蒸汽鍋爐聯合監理會所訂定.

式中  $H_u$  = 一公斤燃料之下熱量以 WE 計之

C = 一公斤燃料所含之碳素	}	以重量百分數代入
H = 一公斤燃料所含之氫素		
O = 一公斤燃料所含之氧素		
S = 一公斤燃料所含之硫素		
W = 一公斤燃料所含之水分		

燃料中之氧素視為與氫素相結合而言, 故氧素中僅以其可供燃燒者計入  $(H - \frac{1}{8}O)$ . 至燃料中所含之水分則因化為蒸汽時吸收熱量 (蒸發熱) 故應減除之.

例: 石炭熱量之計算:

所含物質成分	燃燒所得熱量
82,3% C .....	82,3 · 81 = 6666,3 WE
5,0% H .....	$\left(5 - \frac{5,7}{8}\right) \cdot 290 = 1205,4 WE$
6,7% O + N .....	—————
1,1% S .....	1,1 · 25 = 27,5 WE
<hr/>	
95,1% 石炭中可燃燒物質 .....	= 7900,2 WE
減 1,1% 水分 .....	11 · 6 = 6,6 WE
3,8% 灰渣	
<hr/>	
100%	共 = 7893,6 熱量單位

**熔解熱** —— 乃一公斤物體由固體變為液體時不增高其溫度繼續加入之熱量, 凝結時 (液體變為固體) 則相反放出同量之熱量. 工業手冊 (Hütte) 中所列之熔解熱在一公斤之下列物質中為:

鐵=30 WE, 銅=43 WE, 鋁=77 WE, 冰(水)=80 WE

比熱——“ $c$ ”乃一公斤物體加熱, 增高溫度一度所需之熱量, 且比熱與物體之溫度有關。水之比熱為:  $c=1$ 。比熱在一定之溫度時稱為「實際比熱」。在二種溫度之間之平均值稱為「平均比熱」( $c_m$ )。

$$c_m = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} c \cdot dt, \quad \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right]; \left[ \frac{\text{尅卡}}{\text{公斤}^\circ\text{C}} \right]$$

式中  $t_1$  為起始時溫度,  $t_2$  為完畢時溫度, 在燃燒計算中皆以平均比熱為準, 如鐵之平均比熱由 0 起至  $t_2$  度時為:

$t_2^\circ\text{C} =$	100	300	400	500	600	700	800	900	1100	1200	1400
$c_m =$	0,115	0,126	0,131	0,137	0,142	0,159	0,170	0,170	0,168	0,167	0,167

例: 若欲將一公斤純鐵自 0 加熱至  $1400^\circ\text{C}$  共需熱量為: (並加 30 WE 熔解熱)

$$1400 \cdot 0,167 + 30 = 264 \text{ 熱量單位.}$$

物質之平均比熱各書所載不盡相同, 故此結果未能作為絕對值。氣體之平均比熱則分為定壓( $c_p$ )及定容( $c_v$ )二種,  $c_p$  常較  $c_v$  為大, 此二值之比  $c_p/c_v$  為一常數, 此外尚須註明氣體以重量或容積為準。

例: 一氧化碳 (CO) 自 0 至  $100^\circ$  時之平均比熱:  $c_p = 0,314 \text{ WE}/\text{m}^3$   
 $= 0,251 \text{ WE}/\text{kg},$

碳酸氣 ( $\text{CO}_2$ ) 自 0 至  $100^\circ$  時之平均比熱:  $c_p = 0,414 \text{ WE}/\text{m}^3$   
 $= 0,209 \text{ WE}/\text{kg}.$

氣體之平均比熱亦隨溫度變化, 在熔化及燃燒中一般僅用定壓比熱。

(2) 溫度測定 物質在獲得理論上必需之空氣中完全燃燒時所產生之溫度, 稱之為「燃燒溫度」。可用下列公式計算之:

$$W = V \cdot c \cdot T.$$

式中  $W$  為一公斤物質燃燒所發生之熱量,  
 $V$  為一公斤物質燃燒所發生之燃燒氣體,

$c$  為燃燒氣體之比熱，

$T$  為燃燒溫度。

用此種算法以求得之溫度，常不能準確，故實際應用時，皆用測溫器測定溫度。

#### 測溫器——

*a.* 水銀測溫器——可測  $-30^{\circ}$  至  $+800^{\circ}\text{C}$ ；溫度超過  $300^{\circ}\text{C}$  時須於測溫器玻璃管內上部水銀柱上空隙，注滿具有 20 氣壓之氮氣或碳酸氣，以免水銀因高溫而致蒸發。

*b.* 熱電高溫計 (thermoelektrische Pyrometer)——為將二種不同之金屬焊接後，在焊合處加熱，則二金屬間即發生電位差，並可於金屬之另二端間測得其電壓。將電壓表之指計刻劃與相當之溫度配合，即可在此表上讀出所測之溫度高低。二金屬間之電位差變化與所用之材料有關，故可用不同之金屬製成不同測溫範圍之高溫計，用：

銅及電阻絲 (Konstantan, 60% Ni, 40% Cu) 製者，可測

$-190^{\circ}$  至  $+500^{\circ}\text{C}$ ，

鐵及電阻絲……………製者，可測

$-190^{\circ}$  至  $+900^{\circ}\text{C}$ ，

鉑及鉑銠合金 (90% Pt, 10% Rh)……………製者，可測

$+250^{\circ}$  至  $+1500^{\circ}\text{C}$ ，

鎳及鎳鉻合金 (9% Cr)……………製者，可測

$+1000^{\circ}\text{C}$ 。(短時間至  $1200^{\circ}$ )

鎢及鎢……………製者，可測

至  $2500^{\circ}\text{C}$ 。

金屬絲之間互相用瓷管絕緣，外套以鐵管或石墨粉料所製之管以保護之。測溫時將此鐵管尖端安設於須測定溫度處。

*c.* 比光高溫計 (optische Pyrometer)——此種高溫計係間接的比較光度強弱之方法測定物體之溫度者，用一比光燈泡在電路中置一電阻，電源由電池而來，測時將此器對正欲測之紅熾物體，在目鏡中可



望見比光燈泡之燈絲及欲測之處，同時調節電阻大小，使燈絲之光度與測定物之光度相等。此時在目鏡中將不復見燈絲之影，此時電表中指針所指處即測定之溫度大小。電表刻劃係經事先校正與溫度適合者，圖(1)為 Holborn-Kurlbaum 式高溫計。

溫度大於  $1000^{\circ}\text{C}$  時，光度太強，須於目鏡處加一護目紅玻璃，超過  $1400^{\circ}\text{C}$  須加二個始可，測溫範圍為  $600^{\circ}\text{C}$  以上之各種溫度。普通冶煉工程用者，為  $600^{\circ}\text{C}$  至  $2000^{\circ}\text{C}$ ，此器之缺點為僅能作個別單獨測定。

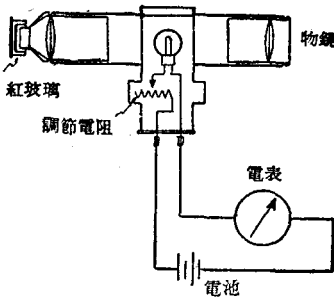


圖1 比光高溫計

d. 輻射高溫計 (Strahlungs-pyrometer) —— 若爐內溫度太高，則使用熱電高溫計易被燒燬，且欲測爐內各處不同位置之溫度必須安置數個於內，安裝不便且亦不經濟。故以用比光高溫計或此種利用輻射熱之高溫計為佳，製成之種類甚多，

如 Hase 高溫計，Siemens 高溫計，其構造略圖如圖(2)所示；測時將此物鏡對正欲測之物，距離應如圖所示，自目鏡中使此器更易對正，務使爐中之熱由輻射集中達於器內之熱電池上，熱電池用着黑色之鉑金片製，有導線二接於電表上，並刻有溫度分劃，測時須經過 40 秒鐘後電

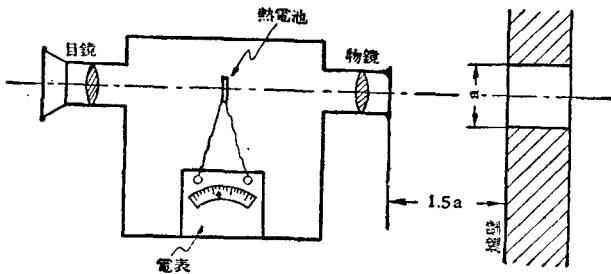


圖2 輻射高溫計