

熱處理學

楊惠春編著

五洲出版社印行

HEAT TREATMENT

熱處理學

楊惠春編著

江苏工业学院图书馆
藏书章

五洲出版社印行

出版登記證局版台業字第〇九三九號
中華民國六十五年十二月出版

熱處理學

特價一百八十元

版權所有
翻印必究

編譯者 楊惠春
發行人 丁廼庶
發行所 五洲出版社
總經理 五洲出版社

海外總經理

地址：台北市重慶南路一段八十八號
郵政劃撥儲金帳戶：二五三八號
電話：三三一九六三〇號
世界圖書公司
地址：香港干諾道西一二一號二樓

序

金屬材料性質發揮，有賴於熱處理；以合金鋼言，若欲使其特性充分發揮，除淬火外，尚應施以回火。熱處理在工業界上之重要性，乃不言而喻之事實。近年來，由於金屬物理之發展，其熱處理理論亦隨之步入新領域。

本校副教授楊君惠春執教近廿寒暑，平日酷嗜於學，孜孜不倦，本其多年研究心得，編著“熱處理”一書。該書內容豐富，材料新穎，所涉及熱處理之金屬有鋼、鑄鐵、鋁合金、及銅合金等，理論與實際兼顧，編排井然有序，敘述簡明，該書問世，諒必有益於學子，茲以數語序之。

何敏寬

中華民國六十年十月廿日

自序

金屬材料性質欲使之發揮，資賴熱處理爲之。由於所需性質不同，如偏重於硬度、或軟性、或強度及韌性，因此熱處理亦有淬火、退火、回火、及正常化之別；其中有執行一項者，有二項合併使用者，但視其情況而定。又因金屬材類種類互異，其熱處理之加熱、冷卻、及程序或步驟亦不同。熱處理對金屬材料性質之發揮或符合使用目的所需特性如此重要，當然在機械工業及生產工業方面實佔有極重要地位。

近年金屬物理學進步極速，至於熱處理有關理論亦應與之配合而導入該體系內，又應由理論引至實用，以符合理論與實際兼顧，此乃編著本書之目的。

據此本書分爲三篇，即熱處理之基本理論、金屬材料之熱處理、及熱處理之實例等。第一篇有合金平衡及狀態變化、析出現象、變態現象、及加工熱處理等五章，第二篇包含鋼、鑄鐵、銅合金、及輕合金等六章。第三篇涉及熱處理設備、機械工具、測量工具、小物件及薄物、及木工具與刃類等六章；其次序之編排，係按循序漸進爲原則。

有關書中專有名詞多按教育部頒佈者，其中亦有使用俗名者，無論如何，諸專有名詞之後附有英文名詞，以資對照。編著本書之資料爲英日書籍雜誌，故單位有英制、公制、及日制，而材料規範亦非取決一國，對此編著者甚感慊然。

編者執教有關機械工程約廿寒暑，但對材料方面甚感興趣，前後編著有金屬材料、工程材料、及新金屬諸書，承蒙學術界、工業界、教育界、及社會人士愛護，至此深爲感激，茲將累年收集有關熱處理資料及教學經驗編纂斯書，藉此以收拋磚引玉之效。本書承蒙航空工程專家 校長空軍少將何公敏寬賜序，榮之幸之，編著者對此衷心感謝。書中錯誤難免，祈盼海內外方家不吝教正，是幸。

中華民國外銷 臺灣特產品圖鑑 工藝品

THE KEY PHOTO OF TAIWAN HANDICRAFTS
AND NOUELTIES China exporting products

中華民國外銷品——「台灣特產品、工藝品圖鑑」是為拓展外銷推廣產品，經過長時期的收集彙編不惜鉅資全部以彩色（原色）精印，產品達二萬種，用 150 重磅雙面銅版紙，中華彩色印刷廠承印，全書四百餘頁精裝 16 開本壹鉅冊，本書承蒙全省各特產品和工藝品製造企業提供寶貴圖片，並為國外採購及經售公司行號方便將原產品廠商地址附刊於上。

本書共分二十大類：

- | | | |
|-------------|-----------------|-----------|
| ①稀有古物複製 | ②人造漆品 | ③人造象牙製品 |
| ④銅器製品 | ⑤裝飾燈及古董 | ⑥寶石製品 |
| ⑦玉器雕刻 | ⑧硬玉、珊瑚飾物 | ⑨人造鑽石 |
| ⑩瓷釉琺瑯 | ⑪陶器製品 | ⑫大理石工藝品 |
| ⑬水晶玻璃製品 | ⑭木器製品 | ⑮竹器製品 |
| ⑯油畫、國畫、蝴蝶標本 | ⑰綵帶花、木製花、乾花、塑膠花 | |
| ⑱贈與贈製品 | ⑲洋娃娃與玩具 | ⑳手工藝及聖誕飾物 |

本書的出版承蒙外銷推廣中心(This publication is printed on the recommendation of Export Development Center)的獎助，使我們更加濃厚的興趣，而能使本書順利成功的出刊，但願本書能對台灣產品在國外市場的競爭上作為強有力的工具。

定價新台幣壹仟伍佰元 港幣200元 美金40元

出版者：泰運貿易有限公司
TAI-YUNG TRADEING CO., LTD.

中華民國外銷推廣中心
(This Publication is printed on the recommendation of Export Development Center)獎助出版。

目 錄

何 序

自 序

第一篇	熱處理之基本理論	1
第一章	緒 論	1
1.1	強化金屬之方法	1
1.2	鋼之熱處理	2
1.3	硬化中 C 之效應	3
1.4	淬火液	4
1.5	麻田散鐵之分解	4
1.6	次臨界淬火之程序	5
1.7	分段淬火法	5
1.8	析出硬化	6
1.9	非鐵金屬之其他熱處理	7
1.10	硬化能	8
1.11	退火及正常化	8
1.12	表面硬化	9
第二章	合金平衡狀態圖及狀態變化	12
2.1	平衡狀態圖	12
2.2	合金相之變化	13
2.3	多元合金之熱處理可能性	18
第三章	析出現象	20
3.1	固溶體	20
3.2	核生長	21
3.3	析出晶之成長	26
3.4	析出相之構造及組織	28
3.5	析出速度	33
3.6	由析出之諸性質變化	36

第四章	變態現象	41
4.1	純金屬之同素變態	41
4.2	金屬與合金之變態組織之分類	43
4.3	麻田散鐵變態之特徵	44
4.4	麻田散鐵變態結晶學之關係	45
4.5	以麻田散鐵為中心之鋼之淬火理論	48
4.6	鋼之共析分解與恒溫變態	59
第五章	加工及熱處理	67
5.1	一般加工材料之熱處理法	67
5.2	應變歷時	68
5.3	低溫退火	71
5.4	應力歷時	73
5.5	應變回火	75
5.6	應力恢復	77
第二篇	各金屬材料之熱處理	79
第六章	鋼之熱處理	79
6.1	鋼之狀態圖、加熱、及冷却	79
6.2	奧斯田鐵之冷却變態	81
6.3	奧斯田鐵結晶粒度	83
6.4	鋼之淬火硬化及淬火液	86
6.5	特別淬火法	89
6.6	淬火鋼之回火	94
6.7	鋼之硬化能	99
6.8	鋼之退火、正常化、及其他	106
6.9	鋼熱處理發生容積變化、內應力、及龜裂	107
6.10	影響鋼熱處理之合金元素	111
第七章	鑄鐵之熱處理	115
7.1	鑄鐵組織及性質	115
7.2	鑄鐵之熱處理	117
7.3	可鍛鑄鐵	120
7.4	特殊鑄鐵之熱處理	122

第八章	Cu 合金之熱處理.....	125
8.1	Cu 合金歷時硬化之型式.....	125
8.2	Cu — Be 合金之歷時硬化.....	126
8.3	其他歷時硬化性之 Cu 合金.....	128
8.4	Sn 青銅及 Al 青銅之共析變態.....	133
8.5	黃銅之熱處理.....	136
8.6	Sn 青銅之結晶偏析與消除.....	138
第九章	輕合金之熱處理.....	139
9.1	Al 合金之歷時硬化.....	139
9.2	Al 合金之恢復現象.....	144
9.3	Al 合金之熱處理操作.....	146
9.4	熱處理之內應力及其消釋.....	149
9.5	Mg 合金之熱處理.....	150
第十章	鋼之表面硬化.....	152
10.1	鋼之滲碳.....	152
10.2	鋼之氮化.....	157
10.3	滲碳氮化層 (氰化).....	162
10.4	火焰 淬火.....	165
10.5	高周波淬火.....	168
第十一章	熱處理鋼料之試驗.....	173
11.1	硬度 試驗.....	173
11.2	火花 試驗.....	175
11.3	破面 試驗.....	176
11.4	可視組織 試驗.....	177
11.5	細微組織 試驗.....	177
第三篇	熱處理之實例.....	185
第三章	熱處理之主要設備.....	185
12.1	熱處理爐種類及應具條件.....	185
12.2	高周波熱處理裝置.....	198
12.3	冷 却 裝置.....	200
12.4	回火裝置.....	202

第三章	機械工具之熱處理.....	204
13.1	C 工具鋼及合金工具鋼之切削工具.....	204
13.2	高速鋼之切削工具.....	205
13.3	銑刀及滾齒刀之熱處理.....	210
13.4	絲攻及模之熱處理.....	214
13.5	麻花鑽、絞刀、絲攻、及模之熱處理操作.....	219
13.6	鉚釘頭模及夾頭之熱處理.....	224
13.7	手工工具及自行回火工具之熱處理.....	225
第四章	木工具及刃類之熱處理.....	229
14.1	圓鋸及帶鋸之熱處理.....	229
14.2	弓鋸之熱處理.....	233
14.3	鑿、鉋、及小形刀具之熱處理.....	235
14.4	金屬剪、鋸用刀具之熱處理.....	242
第五章	測量工具之熱處理.....	247
15.1	限規之熱處理.....	247
15.2	規矩塊之熱處理.....	253
15.3	分厘卡之熱處理.....	259
第六章	小機械構件之熱處理.....	270
16.1	軸承鋼球及軌環之熱處理.....	270
16.2	渦狀彈簧之熱處理.....	276
16.3	盤環之熱處理.....	279
16.4	板彈簧之熱處理.....	284
第七章	小物件及薄物之熱處理.....	290
17.1	縫針之熱處理.....	290
17.2	小型構件之熱處理.....	292

第一篇 熱處理之基本理論

第一章 緒 論

1.1 強化金屬之方法

強化金屬之實用方法計有五種，如應變硬化 (Strain hardening)、相變態 (Phase Transformation)、析出硬化 (Dispersion hardening)、固溶體硬化 (Solid solution hardening)、及分散硬化 (Precipitation hardening) 等。茲將諸方法分別述之。

1. 應變硬化

應變硬化包含正常金屬結晶格子 (Crystal lattice) 之物理扭變，因此妨礙差排移動 (Movement of dislocation)，於是使該金屬之強度增加。

2. 相變態

相變態者務須將金屬加熱，而熔解諸合金元素於單一高溫相內。隨之迅速冷卻，可達到不同室溫相之變態，因此而具有所需強度特性。

3. 析出硬化

本法係將金屬加熱，而使諸合金元素在基地 (Matrix) 成為固溶體 (Solid solution)。隨該溶體處理後迅速冷卻，於是而能在室溫保持該金屬之高溫組織。隨之在室溫或升溫之歷時過程 (Aging period)，溶體原子在過飽和基地內析出之，而如同格子中鍵之作用然，因此具有妨礙其變形趨勢。該作用務須使合金元素在高溫溶解在基本金屬內之量，較低溫為多。

4. 固溶體硬化

固溶體硬化，係與附加元素形成複雜固溶體，該元素具有與基地之原子不同質量大小，因此使格子發生扭變。其強化僅於單相固溶體維持間發生之。該處理對如Nb難處理金屬之強化甚具效果。

2 緒 論

5. 分散硬化

分散硬化係用於粉末合金。並涉及不溶解第二相；如氧化細金屬絲或金屬鬚是。

以上所述五種強化金屬方法，除應變硬化外，其他四種方法均須加熱與冷卻。然而於若干情況以應變硬化、加熱、及冷卻等之循環配合，而能獲得重要利益。該加熱及冷卻之目的乃改變金屬之性質，此即謂之熱處理 (Heat treatment)。按前述定義，熱處理係按特殊目的而改變金屬性質，並施以加熱及冷卻。然而因其他原因如成形或另外作用而將金屬施以加熱及冷卻，似此並不改變該金屬之性質。因此熱處理不僅用於改善金屬之性質，而且亦能於加熱冷卻之其他作用附帶相中避免可能性困難；因此可知熱處理在工程方面之重要。

1. 2 鋼之熱處理

熱處理操作施於鋼及包含相變態約佔 90% 以上，而大多數為硬化熱處理。鋼之硬化係基於二階程變化，即當奧斯田鐵 (Austenite) 變態為肥粒鐵 (Ferrite) 與雪明碳鐵 (Cementite) 過程發生之。當該變態於緩慢冷卻中發生時， γFe 變為 αFe ，並使雪明碳鐵由固溶體析出之，其原因乃 αFe 內之雪明碳鐵溶解量，較 γFe 內顯著減低。該析出務必具有充分時間才能使之發生作用。若鋼被加熱至奧斯田鐵狀態，並投入如水之淬火液 (Quenching medium) 內急冷， γ 至 α 變態 (部分) 將迅速發生，於是雪明碳鐵無時間從溶體內析出之。當 γ 相至 α 相變化之代替完成時，則 γFe 如同 αFe 而變為體心立方格子 (Body-centered cubic lattice)，似此對於雪明碳鐵具有低溶解性。由此，其體心立方 Fe 內具有雪明碳鐵之過飽和固溶體 (Super-saturated solid solution)。該組織即名為麻田散鐵 (Martensite)。因為體心立方格子並非 Fe 之正常格子，但是僅在中間轉變產生過程中顯然存在之，麻田散鐵不安定，但性質較硬，而似針狀組織 (Needle-like structure)。彼乃一般硬化鋼內之硬成分。

如果 C 量低於 0.10%，其麻田散鐵韌而強；若含 C 量較高 (大部分鋼之情況)，則麻田散鐵甚脆。

欲硬化鋼料，務必執行二種條件，如①必須使之變為奧斯田鐵，及②應迅速冷卻足夠抑制雪明碳鐵由 γ 至 α 變態過程中析出。該抑制析出之冷

却率命名為臨界冷卻率 (Critical cooling rate)。因為臨界冷卻率務必使之超過 γ 至 α 變態正常發生之時間，鋼通常加熱高於 Fe - C 變態平衡圖 (Iron-carbon diagram) 上 GSK 綫 $50 \sim 100^{\circ}\text{F}$ ，然後從爐內取出淬火，於此才能保證由該轉脆溫度 (Transition temperature) 獲得最大硬度之冷卻率。

1.3 硬化中C之效應

欲獲得麻田散鐵，C務必在鋼內以碳化鐵呈現之。如果呈現甚少C量，明顯示出最後淬火組織將含有適量基本肥粒鐵及微量麻田散鐵，因此而無法達到硬化程度。共析成分之鋼料〔共析鋼 (Eutectoid steel) 淬火，在理論上可至100%麻田散鐵。0~0.30%C之鋼料亦不硬化，除非使用極大冷卻率，但通常熱處理並不以此為之，可是若干焊接作業及鋼料極薄部分却屬例外。該二種之例外乃能達到並非企盼及經常無法期求之硬度。所以藉加熱與淬火程序 (Heat-and-quench process) 之硬化並不能施於低過0.3%C量之鋼料。如C量由0.3%增至0.7%，則所獲之硬度迅速增加。若含C量超過0.7%，其硬度則隨增加之C量略增。因為超過共析成分之鋼料，係由麻田散鐵及雪明碳鐵所構成，似此，雪明碳鐵之性質硬，由於過量成分之存在並不如亞共析鋼 (Hypo eutectoid steel) 內之過量軟肥粒鐵存在情況而減低整個硬度。

鋼被硬化之大部分目的，係使用0.35~0.65%C之鋼料，因為該鋼料藉熱處理可獲得高硬度 (Hardness) 及較佳韌性 (Toughness)；如果忽視韌性而專注意其硬度，則使用含C量較多之鋼料。

1.4 淬火液

淬火液中在釋除鋼之熱量之效果而有不同區分，水不僅價廉而且為最佳之淬火液，但亦有缺點，如因鋼料高溫而使接近部分之水成為氣體，致有汽泡依附在鋼料上，於是產生軟點 (Soft spot)。因此，利用水淬火時，應經常將鋼料在水中移動，以避免汽泡依附而產生軟點之虞。

鹽水係一種較水嚴重之淬火液，亦為經常使用之淬火液。使用鹽水作為淬火液時，易使鋼料腐蝕，故應避免此一缺點。當企求更嚴重淬火時，有時亦以不同氫氧化物作為淬火液，欲對低C鋼獲得良好硬度，則以氫氧化鈉或氫氧化鉀作為淬火液較為有利。

為加重水、鹽水、及氫氧化物之淬火效果，以該等淬火液噴射在熱鋼料上使之急冷。似此不僅可防止汽泡之產生，而且淬火亦能均勻之。

最普遍使用者為淬火油。不同油類均適合於該項工作，此有賴於該油液具有高閃點 (Flash point) 及淬火效果之不同程度。

1.5 麻田散鐵之分解

前已指出麻田散鐵為不安定物質，而且硬脆。由於脆性及高度內應力存在，其生成物雖為 100 % 麻田散鐵，可是大小並不穩定，作用時而破碎之。因為大多數使用目的，更企盼使其硬度略減，而在韌性方面增加之，根據此一要求，因麻田散鐵不安定，故易於達成。

如果將麻田散鐵加熱 200°F 以上，即進行分解作用，而具有完全由奧斯田鐵至波來鐵 (Pearlite) 變態之趨勢。第一步由 γ 成為 α 變態，而消除不正常立方格子，於是在 α Fe 內產生過飽和雪明碳鐵，此即名為 β 麻田散鐵。因為正常立方格子，其應力消除甚多，而且大小亦多安定，故僅較 α 麻田散鐵微硬。該情況之顯微鏡組織呈示微棕色。

若溫度繼續上升，分解過程不斷為之，於是有過量雪明碳鐵由固溶體析出，而且形成不同大小之球狀碳化物。該處理謂之回火 (Tempering)，並逐漸隨溫度而再度形成奧斯田鐵。以 400 ~ 750°F 之回火溫度，其產生之物質，係由肥粒鐵內之析出雪明碳鐵微質點所構成。其結構以普通顯微鏡組織呈現黑色痕跡，如同具有微小顯明結晶組織之雜色斑紋之質量然。以電子顯微鏡察之，發現該組織實為極細波來鐵。此視為較麻田散鐵軟，而富延性 (Ductile)。

當使用回火溫度為 750 ~ 1000°F，其析出碳化物成長，直至該物質開始具有粒狀形態為止。藉電子顯微鏡發現甚細波來鐵，其顯微度係為回火溫度之反函數。該組織仍較極細波來鐵軟及更富延性。

在 1000°F 以上之回火溫度，其晶粒 (Grain) 之大小增加，雪明碳鐵變大而成為球狀體，該組織即通常球粒波來鐵 (Spheroidite)。顯然，如果重行加熱至足夠高度，奧斯田鐵將再度形成。如前討論中指出，麻田散鐵分解係逐漸進行者，並以回火溫度取決其分解程度；藉充分硬化鋼獲得 100 % 麻田散鐵，繼之回火至所需情況，於是可決定組織不定範圍。如結果所示，能獲得性質之廣闊範圍，係有賴於比較簡單二步驟程序。硬度、回火

程序，與產生之結果，如圖 1.1 所示。至此應於注意者，其麻田散鐵之分解物僅以第一次淬火奧斯田鐵所獲之麻田散鐵取決之。

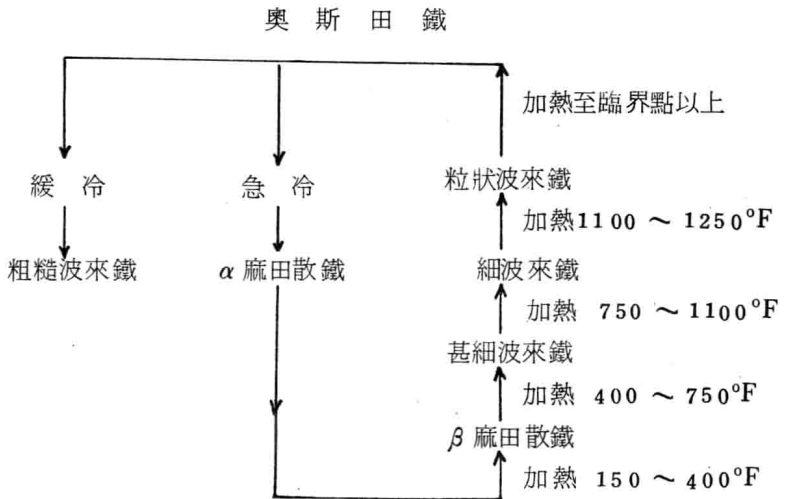


圖 1.1

1.6 次臨界淬火程序

有關硬化之討論，迄今認為將奧斯田鐵迅速淬火，已足夠產生麻田散鐵之最大可能量。在該極端與緩慢冷卻間，形成粗波來鐵，似此而有無數之可能淬火率。同理以室溫或低於室溫代替在淬火液內淬火，可能應用升溫淬火及允許在 1300°F 以下之任何溫度，由奧斯田鐵發生變態。

該等程序之可能性，最佳應用時間—溫度—變態平衡圖 (Time-temperature-transformation diagram) 示之。該圖曲綫呈 S 形，故通常名為 S 曲綫。一切鋼料均具有相同形狀曲綫，但是其詳細情況各不相同。

1.7 分段淬火法

S 曲綫現象及其形狀，在淬火中可能作為一組重要變化。奧斯回火 (Austempering) 之處理，係於熱淬火浴 (Quench bath) 中施行，直至完成變態。該程序之變態產生，通常名為斑粒鐵 (Bainite)。麻田回火 (Mar

tempering) 處理，係於升溫淬火浴中分段淬火 (Interrupted quenching)，直至被淬火材料中心到達浴溫為止。該材料以空氣冷卻，然後作回火 (Tempering) 處理，以達到所企求之硬度，於是產生回火麻田散鐵。

麻田回火具有數種較佳用途。以該程序處理之材料並不呈示較大溫度差異，此遠不及因熱應力所產生龜裂之甚。具有複雜形狀及剖面突變之材料，藉麻田回火而易於處理。於硬化發生之前；而在初淬火之升溫，亦可能施以矯正性操作。600~700°F 間，由分段淬火所獲之組織，不僅具有良好硬度，而且延性亦佳。諸如承受衝擊材料務必具有適當硬度，利用麻田回火最為適合。

分段淬火係以低熔點溫度熔解金屬浴；或經常於熔解鹽浴中進行之。該法對大量生產方法適用。

至此應於提及者，由淬火率之控制，而能獲得廣闊範圍之微細組織。從麻田散鐵分解，採取獲得之適當組織，可能經加熱及冷卻鋼料之簡單權宜方式，顯然具有廣泛範圍之性質。

1.8 析出硬化

鋼之淬火硬化已經於前討論之，該硬化可能由於 Fe 在適當溫度承受變化時，而進行同素異形體 (Allotropic) 變化所致。因 Fe_3C 在 αFe 內之熔解，較 γFe 內為少；當普通鋼料從奧斯田鐵狀態至室溫之淬火，Fe 內之過飽和 Fe_3C 固溶體存在，以及 Fe 格子扭變，其碳化鐵如鍵之作用，以妨礙沿滑移面移動，由此而有硬度增加之產生。隨淬火而使所產生之硬度最大。

數種非鐵合金並不發生同素異形體變化，以析出硬化方法可能獲得硬度之增加，此在本章前節中已經提及。該法基於在他材料內減少另一材料之固溶體，如溫度之減低然，但是並無同素異形體發生。隨淬火產生之析出為溫度及時間之函數。若干合金（一般之基本金屬具有低熔點）在室溫歷經適當時間亦能發生析出。其他者未經加熱，而於數日內亦不明顯硬化。如果在室溫發生析出及硬化之該項處理，謂之歷時硬化 (Aging-hardening)。若應用升高溫度從事析出硬化者，則謂人工歷時 (Artificial aging)。

在進行析出前，於過飽和固溶體內之成分，對滑移面之產生鍵作用及硬度方面並無影響。然而質點析出及聯合作用，其硬度增高至獲得臨界大

小之點爲止。在該情況之物質被稱爲過時處理 (Overaged)。其時呈示者，如在二板間推動刮蝕質點，並企圖由一板滑越另一板。如果刮痕微細，對滑移並不具有較大阻力。若刮蝕質點體積變大至某點，則對滑移阻力亦隨之增加。倘使刮蝕質點過大，其作用如同一塊板上粗球體具有滾越他板上其他球體之趨勢。

至此應於提及者，在析出硬化中，該材料隨淬火而立即軟化。甚夥情況之材料已經淬火而未開始析出時，其軟化程度較退火者爲大。由產生之觀點言，此乃一重要事實，因爲材料於淬火與析出間過程較軟，而能使之矯正、成形、或機製操作等。多數歷時硬化材料，其析出在低溫幾乎無限加以抑制。發現該工藝之用途，如用於飛機上之 Al 合金鋁釘是。將淬火後之鋁釘存貯於冰箱內，以待應用，從冰箱內取出使用時，由於質軟而易施工，以後能獲得充分強度及硬度。

析出硬化之金屬隨減低伸長率及延性之一般定則，如硬度及強度增加然。然而該材料存在重要差異性，係導電率隨硬度增加而變大，但超過最大硬度點時，其導電率增加較微。該材料在電之用途方面爲最佳物質。

析出硬化之使用，大多用於以 Al、Cu、及 Mg 等基本金屬之合金。如果一種另外奇異元素能於降低溫度減少熔解，而使之成爲固溶體，則可能示出少許金屬不能以析出硬化處理之。於以該法產生歷時硬化鋼料方面，已有重要發展。

歷時硬化現象之重要偶然啓示，係應變歷時硬化 (Strain age-hardening)。若干材料如果承受塑性應變，將略有歷時硬化發生，否則並不如是。結果材料在使用過程中，可能變脆；或者因晶粒界 (Grain boundary) 之析出，可能遭受嚴重腐蝕。如深抽拔材料桿綫作業務以數種步驟爲之，或者壓展板片過程承受少量冷展，如果使用不正確材料，應變歷時可能促使該項工作發生困難。

1.9 非鐵金屬之其他熱處理

除析出硬化外，非鐵金屬通常所施熱處理之目的有三，即①提供均勻組織 (Uniform structure) (如消除核心偏析)、②提供應力消釋 (Stress relief)、或③促使重結晶 (Recrystallization)。核心偏析 (Coring) 係於鑄造中呈現者，其原因乃冷卻迅速所致，以加熱能將該偏析消除；由於緩和