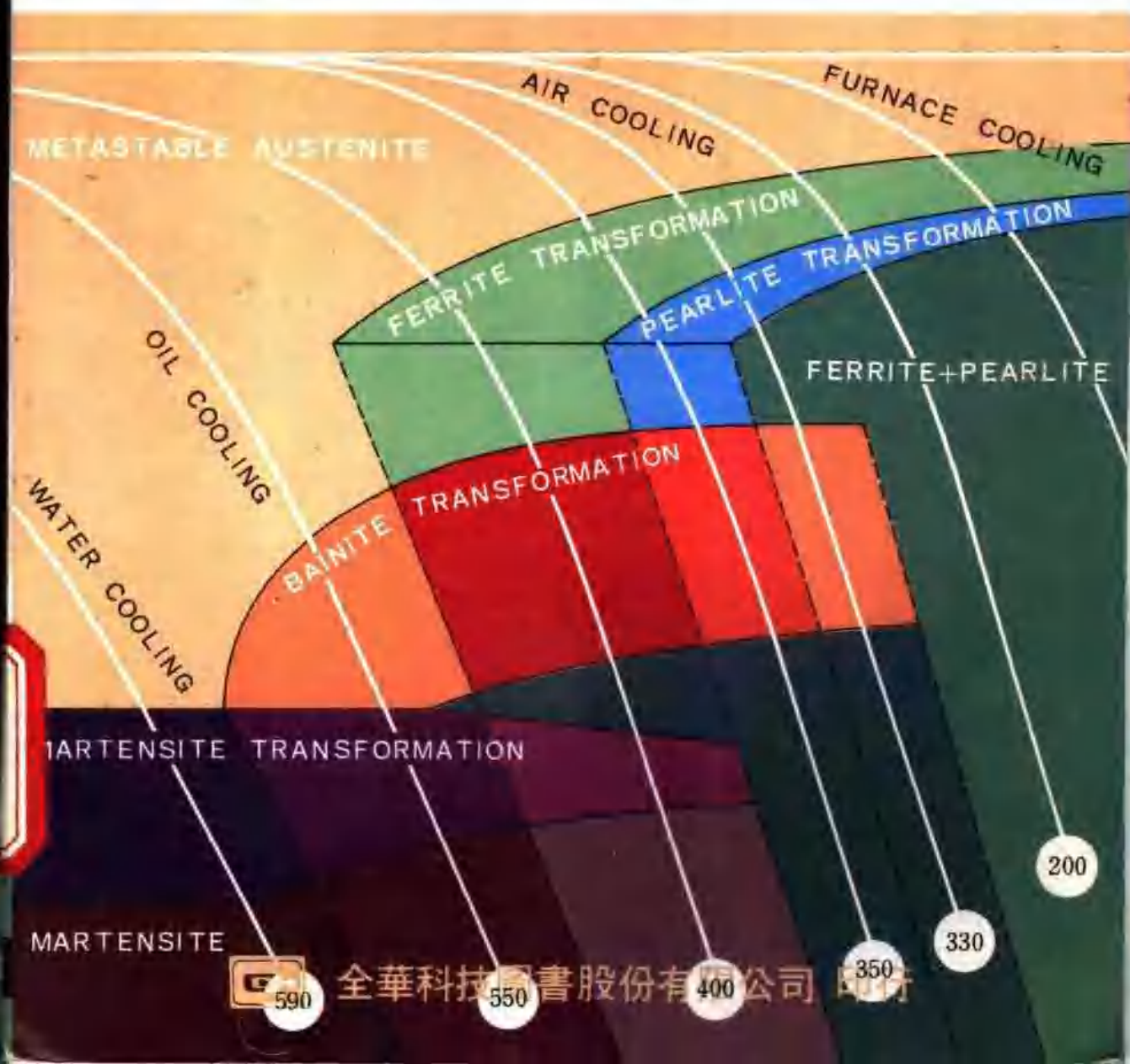


熱處理導論

應用篇

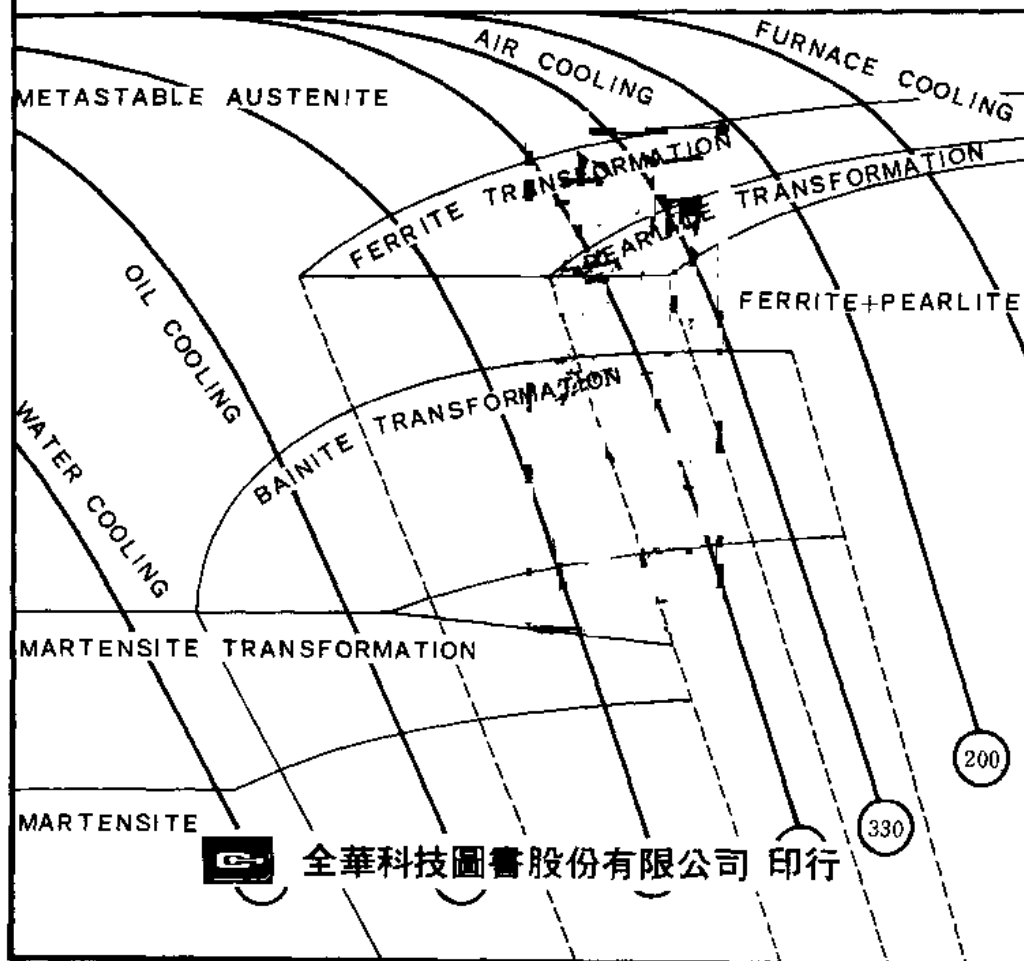
楊義雄 編譯



熱處理導論

應用篇

楊義雄 編譯



我們的宗旨：

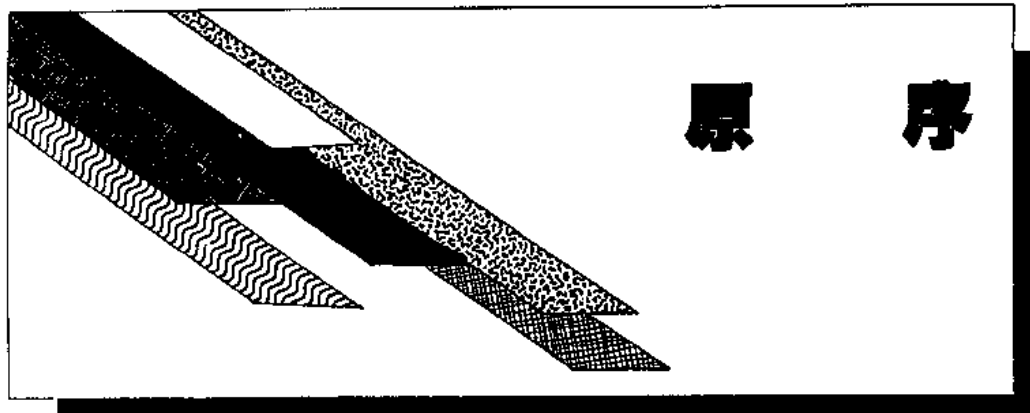
推展科技新知
帶動工業升級

為學校教科書
推陳出新

感謝您選購全華圖書
希望本書能滿足您求知的慾望

「圖書之可貴，在其量也在其質」，量指圖書內容充實，質指資料新穎夠水準，我們本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的“全華圖書”

為保護您的眼睛，本公司特別
採用不反光的米色印書紙！！



機械零件設計時熱處理之角色

日本熱處理技術協會以“熱處理技術之更進一層瞭解”為目標，以熱處理技術人員、機械技術人員為主，且以與熱處理有關之技術員、作業人員、學生等為對象於去年五月發行「熱處理導論・基礎篇」一書，據聞頗受好評。使為該書致力之不定期刊物出版委員會委員及有關人員倍增勇氣，對於相當於該書續篇之應用篇之刊行益加努力。

此次發行之「熱處理導論・應用篇」，乃針對基礎篇所述有關熱處理技術已有充分認識之人員，於實際設計機械時，工作時，或操作機械時，對於各個機件要求之性質，例如機械性之強度與韌性、耐疲勞性、耐磨耗性等。以及要得到此種性質時，應選用何種材料及施行何種熱處理？或施行某種熱處理之材料，其機械性之強度與韌性，或疲勞與磨耗之關係如何？由設計上，工作上與機能上之觀點，準備充分必要之資料，並由各專家分別執筆。

本篇之內容包括：鋼材之強度與熱處理，鋼材之韌性與熱處理，耐疲勞性與熱處理，耐磨耗性與熱處理，耐蝕性與熱處理，遲延破壞與熱處理，及有關之材料試驗方法所構成，每一章節均極重要。

此外，本書之特色已於基礎篇中敘述，不再重覆。為使讀者更易理解，對於文章之表現等均予充分考慮，初學者罕

聞之專門名詞，均加詳細解說。

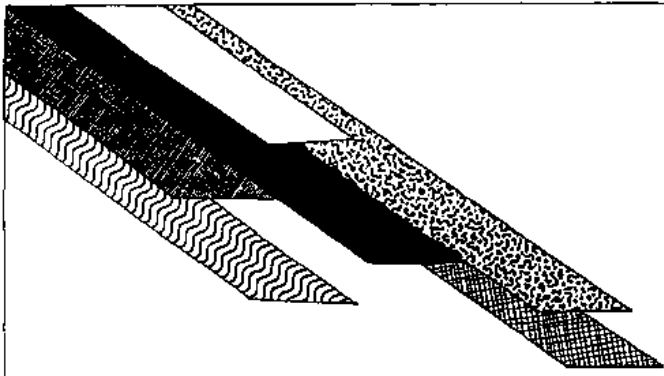
希望能與基礎篇相同、充分活用本書。

謹向盡力於編集本書之下列諸君致由衷謝忱：

阿部吉彥（三菱製鋼），歌川 寬（日本熱處理技術協會），大友清光（東京都立工業技術中心），塚原和俊（東武冶金），富永敏文（東京都立工業技術中心），深川宗光（石川島播磨重工業技術研究所），本宿太市（日野自動車工業），本山盛太郎（日野自動車工業），吉永 仁（關東冶金工業），渡邊 敏（法政大學工學部），三澤三郎（大河出版），遲沢浩一郎（日本冶金工業），佐佐木敏美（日立製作所日立研究所），福井彰一（大同特殊鋼中央研究所）。

社團法人日本熱處理技術協會・不定期刊物出版委員會

委員長 竹內 榮一



譯者序

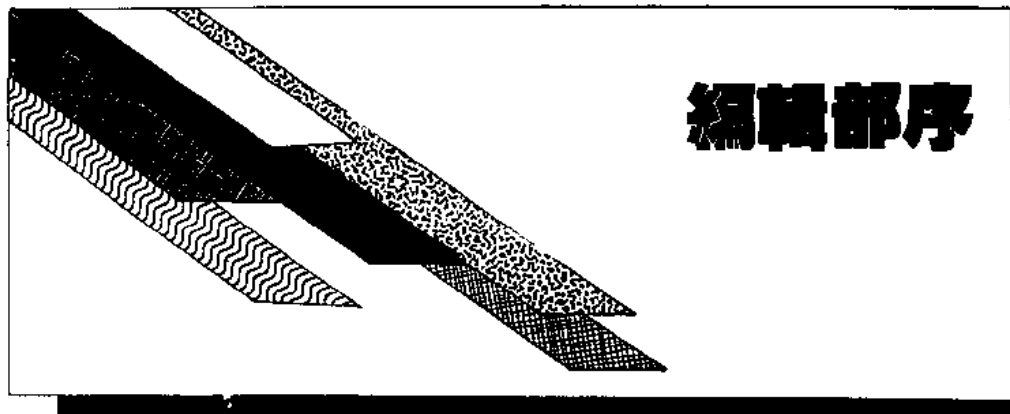
鋼鐵材料由於取得容易、價格低廉，加上百餘年來累積之研究成果，使其在機械工業上仍有不可動搖之地位。

本書係熱處理導論之續篇，延續基礎篇所敘述之理論，於實際設計機件時或施行熱處理時，應如何選擇鋼材與訂定熱處理條件。全書共分七章，前六章分別說明熱處理與強度、韌性、耐疲勞性、耐磨耗性、耐蝕性、遲延破壞之關係。末章則介紹有關之材料試驗方法。

大專學校機械及材料學系學生，可以本書為輔助教材，機械設計人員可供選擇適當之鋼材，熱處理人員則可據以制訂熱處理條件。

本書之成，承全華科技圖書公司賜予鼎助，無任感荷。疏漏之處，尚祈讀者諸君賜予指正，至深祈盼！

楊義雄 序於台北

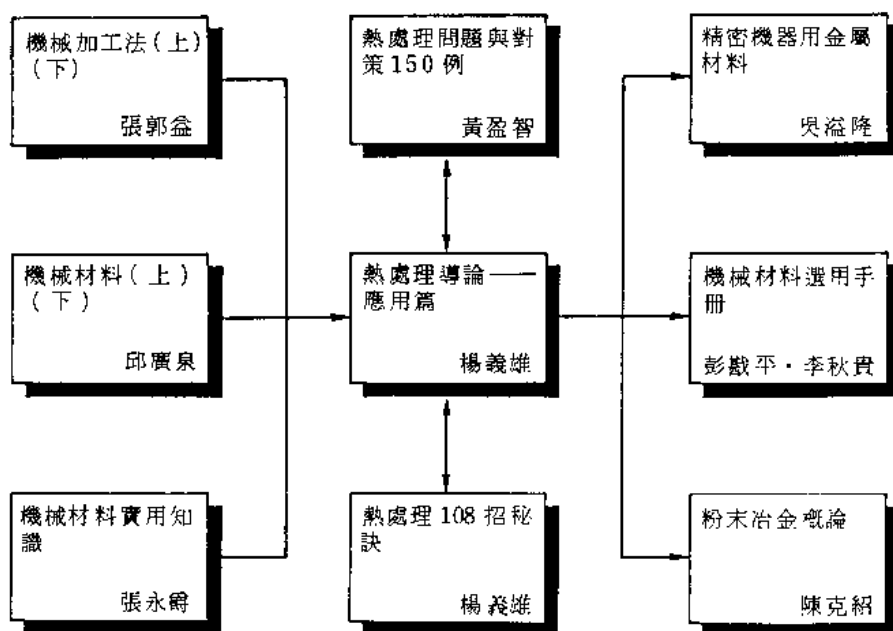


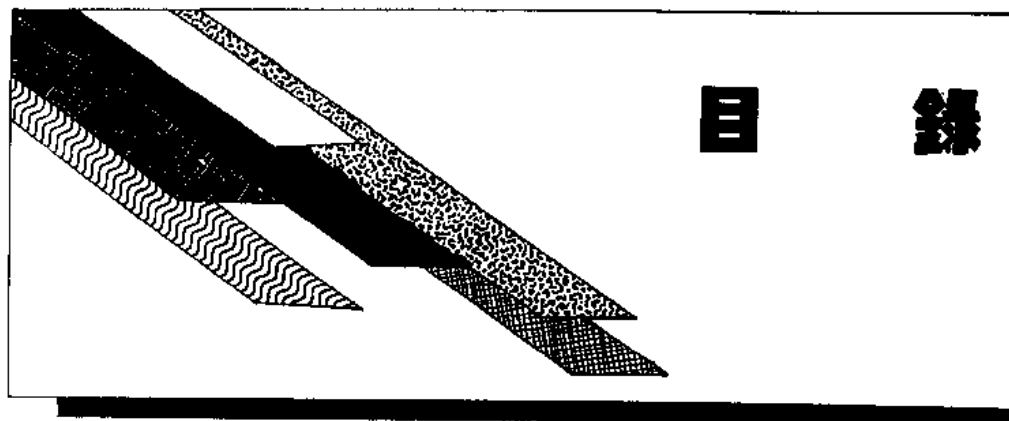
「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

機械設計人員於實際設計機件或施行熱處理時，應如何選擇鋼材與訂定熱處理條件是為一重要之先決課題，本書作者以其在工廠擔任現場實務之多年經驗，特譯著這本很切題的熱處理好書，書中介紹於實際設計機械時、工作時，或操作機械時，對於機械性之強度與韌性、耐疲勞性、耐磨耗性等，應選用何種材料及施行何種熱處理有深入的介紹，是現場熱處理技術人員之最佳參考用書。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習機械方面叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

流程图





鋼材之強度與熱處理

1.1 鋼材強度及其強化法	1
① 鋼材強度之意義	1
② 鋼材之強化法	3
1.2 固溶鋼材之強化	5
1.3 由於結晶粒微細化之鋼材強化	6
① hall-petch 之關係	6
② 肥粒鐵結晶粒微細化方法	8
1.4 變態使鋼材強化	9
① 正常化之強化	9
② 淬火回火強化法	10
1.5 析出物、分散粒子之強化	15
1.6 冷加工鋼材之強化	16
① 冷加工何以能強化	16
② 積極利用冷加工強化例	17
③ 以冷加工改善疲勞強度	18
1.7 以加工與熱處理之組合強化鋼材	18
① 安定沃斯田鐵域之加工熱處理	19
② 以沃斯成形之強化	19

③ 麻時鋼之加工熱處理	20
④ 麻田散鐵變態中之加工	21
⑤ 肥粒鐵，波來鐵變態中之加工	21
⑥ 以波來鐵之加工強化	21
⑦ 控制壓延——控制冷却之強化	21
1.8 鋼材強度可以增加多少	24
1.9 鋼種之選擇與熱處理之注意要點	25
① 鋼材之不均質性	25
② 鋼材零件之質量效應	26
③ 時 效	27
④ 低溫特性	28
⑤ 高溫特性	29
1.10 機械構造用鋼之強度與熱處理	30
① 軟鋼與機械構造用鋼	30
② 機械構造用碳鋼	30
③ 機械構造用合金鋼	33
④ 表層淬火鋼	35
⑤ 氮化鋼	36
1.11 各種構造用鋼之強度及熱處理	38
① 熔接構造用高拉力鋼	38
② 耐候鋼	42
③ 低溫壓力容器用鋼	42
④ 中常溫壓力容器用鋼	43
⑤ 高溫壓力容器用鋼	44
⑥ 超強力鋼	46
1.12 特殊用途鋼之強度與熱處理	47
① 軸承鋼	47
② 彈簧鋼	48
③ 工具鋼	49
④ 高錳鋼	51



1.13	不銹鋼之強度與熱處理	53
①	麻田散鐵系不銹鋼	53
②	肥粒鐵系不銹鋼	55
③	沃斯田鐵系不銹鋼	56
④	沃斯田鐵・肥粒鐵系不銹鋼	57
⑤	析出硬化系不銹鋼	57
1.14	耐熱鋼之強度與熱處理	59
	鋼材之韌性與熱處理	61
2.1	韌性之意義	61
①	左右韌性之各種要因	61
②	破壞韌性值	61
2.2	以退火、正常化改善韌性	65
2.3	以淬火回火改善韌性	66
①	淬火溫度之影響	66
②	淬火冷卻速度之影響	68
③	回火溫度之影響	71
④	淬火時效之脆化	72
2.4	由於低溫回火脆性使韌性降低	73
2.5	由於高溫回火脆性使韌性降低	74
①	化學成份之影響	74
②	組織、強度之影響	76
③	回火冷卻速度之影響	77
④	回火脆性之機構	79
⑤	回火脆性之對策	80
⑥	有關回火脆性諸問題	81
2.6	結晶粒度對韌性之影響	82
2.7	組織對韌性之影響	86
2.8	合金元素對韌性之影響	90
①	C %之影響	91

② Mn %之影響	91
③ Si %之影響	92
④ Ni %之影響	92
⑤ Cr %之影響	93
⑥ Mo %之影響	93
⑦ P 與 S %之影響	95
⑧ 不純物元素之影響	95
2.9 熱、冷加工與韌性	96
① 以熱加工改善韌性	96
② 以冷加工使韌性降低	96
③ 加工異方性使韌性下降	97
2.10 工具鋼之韌性與熱處理	98
① 基地之韌性	98
② 回火與殘留沃斯田鐵之影響	98
③ 碳化物之影響	100
2.11 特殊熱處理與材料韌性	101
① 以控制壓延改善韌性	101
② 以 ($\alpha + \gamma$) 二相域淬火改善韌性	104
③ 以沃斯回火、沃斯成型處理改善韌性	106
④ 因應力消除退火使韌性降低	106
⑤ 因長時間加熱使韌性下降	107
⑥ 環境脆化與熱處理	109
2.12 滲碳鋼之韌性與熱處理	110
① 滲碳層之韌性	110
② 合金元素對滲碳層韌性之影響	111
③ 以急熱處理法改善滲碳層之韌性	112
2.13 氮化鋼之韌性與熱處理	113
2.14 高週波淬火，火焰淬火與韌性	113

3

耐疲勞性與熱處理

	115
3.1 一般之熱處理與耐疲勞性	115
① 一般之熱處理對殘留應力之影響甚小	115
② 疲勞強度因非金屬介在物而下降	115
③ 尺寸大者疲勞強度下降	117
④ 切口降低疲勞強度	118
3.2 高週波淬火與耐疲勞性	119
① 殘留應力之發生機構	119
② 同時提高表面硬度與疲勞強度	121
③ 殘留應力可抑制龜裂之進展	122
④ 最適合淬火條件之存在	123
⑤ 電動火車之驅動齒輪之實驗例	125
3.3 滲碳硬化及氮化處理與耐疲勞性	130
① 應力斜率之特徵	131
② 殘留應力分佈之模式與高週波淬火相同	131
③ 滲碳深度適度即可	132
④ 以氮化改善疲勞強度之效果不大	134

4

耐磨耗性與熱處理

	137
4.1 熱處理改善耐磨耗性之三基本事項	137
① 極力減少摩擦面之殘留應力	137
② 硬度為改善耐磨耗性之重要因素	139
③ 摩擦面之非金屬被膜能提高耐磨耗性	140
4.2 殘留應力與耐磨耗性	142
① 強韌鑄鐵有加工應力殘留	142
② 鑄造應力之消除以施行 550°C 以上之退火為宜	143
③ 耐磨耗性之改善以施行 550°C 左右之退火為宜	144
④ 回火處理使殘留應力緩和	148
4.3 鑄鐵之淬火硬化與耐磨耗性	148

① 含Ti共晶石墨鑄鐵有最適回火溫度	148
② 麻回火處理之合金鑄鐵有優秀耐磨耗性	151
4.4 以淬火硬化提高耐磨耗性之方法	153
① 滲碳、滲碳滲氮宜選用低淬火溫度	153
② 高週波淬火亦有最適回火溫度	156
4.5 以非金屬硬化層提高耐磨耗性之方法	160
① 硼化處理之 Fe_2B 單相有優異耐磨耗性	160
② 碳化物被覆處理與耐磨耗性	164
③ 氮化處理之耐磨耗性依賴表面硬度與凝聚抑制作用	169
4.6 依賴非金屬化合物層之凝聚抑制作用之方法	173
① 氧氮化處理可抑制凝聚、熔化	173
② 氧氮化滲碳處理是否優於氣體軟氮化或鹽浴氮化?	177
③ 滲硫與滲硫氮化處理	179
④ 耐磨耗性為目的之氧化處理只要單面即可	189
4.7 變韌鐵鋼板之耐磨耗性	193
4.8 熱處理與耐磨耗性之結論	196



耐蝕性與熱處理

5.1 不銹鋼之種類與熱處理	199
5.2 不銹鋼之耐蝕性與熱處理	201
① 麻田散鐵系不銹鋼	201
② 肥粒鐵系不銹鋼	202
③ 沃斯田鐵系不銹鋼	202
④ 沃斯田鐵·肥粒鐵二相系不銹鋼	204
5.3 局部腐蝕與熱處理	204
① 粒界腐蝕	204
② 孔蝕及其對策	209
5.4 應力腐蝕裂痕與熱處理	211
5.5 鎳合金	214

6

遲延破壞與熱處理

	219
6.1 遲延破壞現象	219
① 何謂遲延破壞	219
② 腐蝕反應與遲延破壞之機構	220
6.2 遲延破壞試驗法	221
6.3 熱處理對低合金鋼遲延破壞特性之影響	224
① 回火溫度之影響	224
② 沃斯田鐵化結晶粒度之影響	227
③ 恒溫變態處理之影響	227
④ 脫碳、滲碳之影響	230
6.4 工業上成爲問題之遲延破壞現象及其對策	231
① 強力螺桿之遲延破壞現象	231
② 超強力鋼之遲延破壞	233
③ 熔接部之遲延裂痕	234
④ 鋼之氫誘起裂痕與硫化物腐蝕裂痕	236

7

材料試驗與檢查

	239
7.1 疲勞試驗	239
① 疲勞試驗之方法	239
② 疲勞限度與抗拉強度	241
7.2 磨耗試驗	242
① 何謂磨耗	242
② 磨耗試驗機	246
③ 磨耗量之測定法	250
④ 由重量減少量求磨耗量方法	250
⑤ 由磨耗痕之大小求磨耗量方法	251
⑥ 其他磨耗量測定法	252
⑦ 正確磨耗量之求法	254
7.3 組織試驗	256

① 肉眼組織試驗	256
② 金屬顯微鏡組織試驗	257
7.4 物理試驗	258
① 特性X線	259
② EPMA	260
③ 電子顯微鏡	263
④ X線回折	263
⑤ 應力測定法	264
7.5 非破壞檢查	265
① 滲透探傷試驗	265
② 磁粉探傷試驗	265
③ 其他非破壞檢查法	266
7.6 其他試驗與檢查	266
① 現場之試驗與檢查	266
② 其他試驗與檢查	270

鋼材之強度與熱處理

1

添加 0.03 % 以上碳之鋼鐵材料，由於其成份之差異，通常在 $700 \sim 900^{\circ}\text{C}$ 之高溫時為面心立方格子之結晶構造，其組織為沃斯田鐵，將之冷卻，冷卻速度為徐冷時，呈肥粒鐵・波來鐵組織，急冷時呈麻田散鐵組織。如為中間之冷卻速度時則呈變韌鐵等之中間階段組織或其混合組織。肥粒鐵・波來鐵組織之鋼材其抗拉強度為 $40 \sim 60 \text{ kgf/mm}^2$ ，比較軟且富有延性。反之，麻田散鐵組織之鋼材較硬，達 HRC 60 以上，但缺乏延性與韌性。而變韌鐵組織之鋼材具有兩者之中間性質。

鋼鐵材料之機械性質，會因化學成份與熱處理之不同而有大幅變化，因此依使用目的，選定化學成份（鋼種）與熱處理極為重要。

1.1 鋼材強度及其強化法

① 鋼材強度之意義

廣義的鋼材強度包括硬度、降伏強度、彎曲強度、疲勞強度、潛變破壞強度、耐磨耗性與環境破壞強度，在此僅就狹義之強度，以抗拉性質與硬度為主說明之。

圖 1.1 為鋼材抗拉試驗時荷重——伸長度線圖之模式。左圖之(a)為低碳鋼等富延性之材料，在彈性限 (σ_E) 內荷重與伸長度大約成直線之增加。稱為彈性變形，其斜率即彈性係數（楊氏係數）。超過彈性限時繼續施加負荷，荷重與伸長度偏於直線關係。荷重達到上降伏點 (σ_{uy}) 時，沿材料之結晶面發生滑動線，擴及試料全體，荷重開始下降至下降伏點 (σ_{ly}) 之現象稱為降伏