

鋼 的
化學熱處理

明克維奇著

機械工業出版社

鋼的化学热处理

明克維奇著

石霖譯



机械工業出版社

出版者的話

本書所講述的是鋼的化學熱處理(滲碳、氮化、氰化、滲鋁、滲鉻、滲硅等)過程的理論與操作基礎。它闡明了擴散過程的一般規律，對於過程的化學機構，各類因素對過程進程的影響，通用的操作法，以及所用設備的某些特點，都作了探討。而且對鋼經處理後所得到的組織與性能也作了詳細的討論。

本書專供在熱處理及化學熱處理方面工作的工程技術人員應用，對於進修鋼的熱處理教程的大專學生也有裨益。

蘇聯 А. Н. Минкевич 著 ‘Химико-термическая обработка стали’ (Машгиз 1950 年第一版)

* * *

NO. 1074

1956 年 5 月第一版 1958 年 2 月第一版第三次印刷
850×1168 1/32 字數 363 千字 印張 13 1/4 插頁 2 7,401—8,200 冊
機械工業出版社(北京東交民巷 27 號)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

統一書號 15033·10
定 價 (10) 2.90 元

目 次

原序	7
緒論	9
第一章 鉄及其合金的表面進行滲入時其擴散过程的一般規律	18
擴散的機構	18
擴散層的組織	25
鋼內滲入各種元素時碳所表現的行為	29
固體金屬內擴散現象的數學解釋	31
第二章 鋼的滲碳	39
滲碳过程的化學機構與各種因素對滲碳結果的影響	39
滲碳过程的化學機構	39
滲碳过程的溫度與持續時間對其結果的影響	49
各類元素對鋼在滲碳時行為的影響	56
滲碳用鋼	71
鋼在固體滲碳劑中的滲碳	83
滲碳劑	83
零件滲碳的工藝規程	90
加速在固體滲碳劑內滲碳过程的嘗試	96
採用糊膏進行滲碳	97
氣體滲碳法	99
氣體滲碳劑	100
氣體的供應速度與壓力對滲碳結果的影響	104
氣體滲碳使用的設備	106
液體滲碳法	124
鋼在鹽浴中的非電解滲碳法	124
鋼在熔融碳酸鹽內的電解滲碳法	126
滲碳後鋼的熱處理	128
鋼的淬火與回火	128
鋼的冰冷處理	135
滲碳零件的檢查	136
滲碳鋼的組織與性能	144

滲碳層的組織.....	141
滲碳層的硬度与抗磨性.....	151
滲碳鋼的拉伸、弯曲与衝擊試驗.....	153
滲碳鋼的疲勞限度.....	156
第三章 鋼的氮化	159
鐵氮化过程的實質.....	161
鐵-氮系平衡圖.....	161
鐵氮化过程的化学機構及各項因素对过程的影响.....	162
碳鋼的氮化(抗蝕氮化).....	167
抗蝕氮化的工藝規程.....	167
在气体介質內作抗蝕氮化的設備与爐子.....	172
抗蝕氮化用的熔融鹽浴.....	177
氮化碳鋼的組織与性能.....	179
为增强合金鋼的表面及提高其耐磨性而進行的氮化处理.....	191
氮与各种金屬所形成的化合物及此類化合物的性能.....	191
合金元素对氮化層主要性能的影响.....	195
合金鋼及鑄鐵的成分、性能与氮化規範.....	200
氮化操作中的幾個問題.....	217
氮化爐.....	228
氮化合金鋼的組織与性能.....	231
第四章 鋼的氰化	247
氮与碳同時向鋼中擴散時的特點.....	247
氰化時氮与碳向鋼內侵入深度的差別.....	247
氮对擴散層中碳飽和度的影响.....	248
溫度对于氮及碳在鋼中飽和度的影响.....	251
結構鋼的氰化.....	252
在熔鹽內的氰化法(液体氰化法).....	252
气体氰化法.....	279
气体氰化須知.....	288
氰化結構鋼的組織与性能.....	291
高速鋼的低溫氰化.....	298
在熔鹽中的低溫氰化.....	299
低溫气体氰化.....	309
在固体混合物中的低溫氰化.....	316
低溫氰化後的鋼的組織与性能.....	321
第五章 鋼的滲鋁	331

滲鋁過程的化學機構及合金元素對滲鋁層厚度的影響	331
粉末滲鋁	332
在熔融鋁浴中的滲鋁	339
鋼件表面噴鍍金屬鋁再經退火的滲鋁	340
氣體滲鋁法	341
電解滲鋁法	342
滲鋁層的組織與性能	342
滲鋁的應用範圍	348
第六章 鋼的滲鉻	351
滲鉻過程的化學機構及合金元素對滲鉻層厚度的影響	351
粉末滲鉻法	354
氣體滲鉻法	357
鹽浴滲鉻法	361
滲鉻層質量的檢查與零件隨後的熱處理	363
滲鉻鋼的組織與性能	364
滲鉻的應用範圍	373
第七章 鋼的滲矽	379
粉末滲矽法	379
氣體滲矽法	380
滲矽層的組織與性能	383
氣體滲矽法的應用範圍	388
第八章 鋼的滲鋅	389
熱液滲鋅法	389
粉末滲鋅法	390
滲鋅層的組織與性能	392
第九章 鋼的滲硼	395
粉末滲硼法	395
電解滲硼法	396
在含有碳化硼或硼鐵合金的氯化鹽內的滲硼法	398
滲硼層的組織與性能	398
第十章 鋼的滲鍍	402
粉末滲鍍法	402
氣體滲鍍法	403
滲鍍層的組織與性能	404
第十一章 鋼的滲鉬	409
第十二章 鋼的滲鎳	413

第十三章 鋼的滲氮	416
第十四章 鋼的滲鍊、滲鈷、滲鈦、滲鉛、滲鉍及滲錳	420
参考文献	424
中俄名詞对照表	433

原 序

鋼的化學熱處理在近代機器製造業中，特別是在汽車、拖拉機及機床製造中，獲得了廣泛的應用。因此，對於講述生產中所使用的鋼的主要化學熱處理方法的書籍便感到十分需要。許多雜誌上的論文、單行小冊子及文集都針對鋼的化學熱處理問題作了研究，其中對於鋼的化學熱處理的某些方法論述得極為詳細。近幾年來所出版的有關鋼的氮化問題的單行小冊子及書籍〔1~4〕，有關鋼的滲碳問題的文集〔5〕與書籍〔6〕，有關氰化的書籍〔7~10〕，有關滲鉻的文集〔11、12〕，有關滲鋁的書籍〔13〕，以及其他專門講解鋼的化學熱處理各類方法的簡短文獻等，都屬於這一類書籍之內。

在為鋼的熱處理教程而編纂的教科書〔14~17〕中，在工程師所用的書籍〔18、19〕中，以及百科全書〔20〕中，均備有專門講解鋼的化學熱處理的章節。但是這些章節的篇幅有限，敘述得很簡略。

由於近二十年來蘇聯學者及工程師們〔明克維奇（Н. А. Минкович）、古德曹夫（Н. Т. Гудцов）、康特洛維奇（И. Е. Конторович）、普羅斯什金（Д. А. Прокошкин）、依林斯基（С. К. Ильинский）、普羅斯維林（В. И. Просвирин）、拉赫欽（Ю. М. Лахтин）、尤里耶夫（С. Ф. Юрьев）、康弗（С. С. Канфор）、加也夫（И. С. Гаев）、馬烏拉赫（А. А. Маурах）、阿爾哈洛夫（В. И. Архаров）、布蘭特爾（М. Е. Блантер）、阿索諾夫（Д. А. Асонов）、齊利可夫（В. Г. Чириков）、且連霍夫（К. П. Терехов）、列吉列爾（З. Л. Регирер）、亞赫尼娜（В. Д. Яхнина）、莫洛卓娃（Е. М. Морозова）等〕所完成的功績，我國工業不論是在鋼的化學熱處理各類方法的理論研究方面，或者在將其在生產中加以運用方面，都走在外國的前面。

我國工業中在進行結構鋼的滲碳、氮化及氰化等過程時，均採用了最新的操作法。

抗腐蝕氮化法已在我國工廠中獲得了採用。高速鋼的低溫氰化法

也被廣泛地應用着。我們對鋼的滲鋁、滲鉻以及滲硼、滲鍍都進行了較詳盡的研究。

有關鋼的化學熱處理問題，所發表過的資料雖屬豐富，但極為零散，以致使學生們與生產人員們不易加以應用。

作者試圖把與鋼的化學熱處理問題有關的主要資料作一個總括，並將作者自己的研究資料與觀察結果加以敘述。本書內的顯微組織照相圖凡未署研究人姓名的，都是由本書作者所完成的，或是在作者的直接參加下完成的。

承蒙古德曹夫院士、普羅科什金教授、烏曼斯基(Я.С. Уманский)教授、費利波夫(С.И. Филиппов)講師及布蘭特爾講師對本書提出意見，作者認為有責任向他們致以深忱的感謝。作者並向格利爾(Ю.А. Геллер)講師、格利果洛維奇(В. К. Григорович)技術科學碩士，評閱者康特羅維奇教授及科學編輯列吉列爾表示謝意，感謝他們提出的意見及對本書所作的審閱。

緒 論

所謂鋼的化學熱處理，就是為達到改變鋼表面層的化學成分及性能的目的而進行的一種熱處理。此項成分與性能的变化是在鋼表面與外部介質互相發生作用的條件下達到的。這種介質是用固體、液體及氣體物質造成的。它們的化學成分與性能便確定了被處理金屬表面層的化學成分所要發生的變化。

化學熱處理所得到的結果，首先是由鋼與所配製之外部介質間所起的相互作用的性質而定，其結果會使鋼的表面為各種元素所飽和，或使這類元素在鋼表面中的含量趨向貧乏。其次，化學熱處理的結果尚依這些元素的原子由鋼的表面向內部或由內部向鋼的表面的移動速度，即依其擴散速度而定。

以各種元素滲入合金表面的這種化學熱處理法，在工業上已經獲得了廣泛的應用。而使合金表面層中各元素的含量趨向貧乏的這種處理法（如電機鋼的退火處理），在實際中使用尚少。

在專門研究合金表面層內元素貧化的化學熱處理的許多著作中，已經取得了極有意義的結果（如 Mn-13 奧氏體錳鋼在表面脫碳時，使因奧氏體發生轉變而使其表面硬度由 $H_B=250$ 增至 $H_B=500\sim 600$ ）。

化學熱處理的溫度是決定表面擴散層深度與成分的一個主要因素，其數值係依所欲獲得之一定的表面反應速度（由於許多原因，此一速度並非最大反應速度）與擴散速度而選定的。化學熱處理時的停留時間也與操作溫度一樣，是一個決定性的因素，因為擴散層的厚度，即金屬成分與性能發生改變的那一層的厚度，就是由停留時間予以確定的。

金屬表面層的化學成分因化學熱處理的結果而達到的變化，會使其機械性能、物理化學性能及物理性能（強度、韌性、抗磨性、抗蝕力、耐熱性、磁性等）發生激烈的改變。於是，凡在磨損條件下、在可引起疲勞

的載荷的條件下、在腐蝕性介質內以及在熾熱氣體內工作的零件，其使用性能不但因而提高，而且壽命也得以延長。

有些化學熱處理過程（合金鋼的氮化、高碳鋼的滲鉻、滲鋁、滲矽、奧氏體錳鋼的脫碳）在操作之後，雖然施以緩慢冷卻，可是依處理過程中所形成之表面層成分的不同，仍能使金屬表面層與中心部分的性能產生極大的差異。

而在採用其他的化學熱處理過程時（滲碳，高溫氰化），則只有快速冷卻——淬火——才能在表面層與中心部分的性能上造成極大的差異。

滲碳法（鋼表面層滲入碳）在工業上已獲得了最為廣泛的應用。氰化法（碳氮共滲）、氮化法（滲入氮）以及滲鋅、滲錫法（在鋼的表面上造成鋅衣與錫衣，此項覆蓋層均以過渡性擴散層與基體金屬相接）也都獲得採用。

滲鋁法（滲入鋁）、滲鉻法（滲入鉻）及滲矽法（滲入矽）尚少應用。

目前若干新型方法（如鋼的滲鈹、滲硼等）仍在繼續研究中。

由表 1 可知，許多元素向鋼內滲入的過程，目前僅使用了最不經濟最繁重的方法（固體裝箱法）進行試驗，至於所形成之擴散層的性能，則尚未作詳細的研究。

這些問題的解決，毫無疑問會使化學熱處理在將來的使用範圍大為擴展。

由表 1 可知，向鋼內滲入各類元素時，可以在不同的介質內及在不同的條件下完成。但是，各類元素向鋼中進行滲入過程時的物理化學實質是相同的。這就表明：不僅在實現這些過程的技術操作上，並且在金屬表面層本身與內層中所發生的現象的理論根據上，都有着共同的特點存在着。這一情況就使我們能夠將有關擴散過程一般規律的材料單獨編入一章內講解。

表 1 鉄、鋼的表面以不同元素滲入時的各種方法與所形成之擴散層的性能

元素	滲入法	該法在工業上的應用	所用的滲入材料	在生產中或實驗時所採用的滲入溫度(°C)	擴散層的性能
Ag	在 $H_2 + HCl$ 的氣體介質內	實驗室試驗用	金屬銀	950~1000	其性能尚未作詳細的研究
Al	固體包裝法	適於工業使用的鑲鉛法	鉛粉或鉍鐵合金粉 + 高錳土或羰基土 + NH_4Cl (或 HCl)	950~1150	在空氣內, 二氧化碳氣體內以及其他介質內有着極高的熱安定性
	在 HCl 或 $H_2 + HCl$ 的氣體介質內	實驗室試驗用	鉛鐵合金	950~1150	
	在液體介質內	在工業上已獲得應用	鑲鉛液	750~850	
	在液體介質內(電解滲透法)	實驗室試驗用	$AlCl_3$ 與 $NaCl$ 兩種鹽類的混合熔劑	700~800	
	將彈噴於鋼的表面上, 隨後加以退火	在工業上已獲得應用	鉛	900~1200 (擴散退火溫度)	
As	固體包裝法	實驗室試驗用	—	—	其性能尚未作詳細的研究
Au	同上	同上	金粉	—	同上

(續)

元素	滲入法	該法在工業上的應用	所用的滲入材料	在生產中或實驗時所採用的滲入溫度(°C)	擴散層的性質
B	固体包裝法	實驗室試用的滲硼法	硼粉或硼鐵合金粉	900~1100	由於在擴散層內有碳化硼與硼化鐵形成，故其耐磨性與表面硬度皆極高(HV=1200~1500，甚至更高)。抗熱性亦較高
	在液体介質內	同上	熔融的氯化物鹽類內加入碳化硼或硼鐵合金	900~1000	
	在液体介質內(電解滲硼法)	同上	熔融硼液	900~1100	
Be	固体包裝法	實驗室試驗用的滲鍍法	鍍粉或鍍鐵合金粉	950~1100	由於滲入時形成了碳化鍍與鍍化鐵層，故表面硬度極高(HV=1000~1700)，高的抗熱性
C	同上	固体滲碳法在工業上應用極廣	木炭中加入碳磺鹽	880~1000	滲碳層經過淬水之後具有高的表面硬度與耐磨性
	在气体介質內	同上	含碳气体	880~930	
	在液体介質內	在工業上應用尚少	熔融鹽內(Na ₂ CO ₃ 與NaCl)加以含碳物質(SiC)	880~930	
	在液体介質內(電解滲碳法)	實驗室研究用	熔融鹽類: BaCO ₃ 或Na ₂ CO ₃	880~930	

Cd	在液体介質內	在工業上应用尙少	熔融之錫	—	有着高的抗大气腐蝕力
Ce	同上	實驗室試驗用	熔融之錫	—	—
Co	固体包裝法	同上	錫粉	1000~1200	低硬度。其性能尙未研究
	在液体介質內	同上	含 CoCl_2 之熔鹽	1000~1200	
Cr	固体包裝法	工業上应用有限	錫粉或錫鐵合金粉 + 高嶺土或堯土 + NH_4Cl (HCl)	980~1150	鉄与錳經滲錫後具有極高的抗蝕性与耐蝕性由於有碳化錳層形成，故鋼的表面有着極高的硬度 (達 $H_V = 1350$ 或更高) 及耐磨性
	在气体介質內	實驗室試驗用	錫或錫鐵合金	980~1150	
	在液体介質內	同上	含氯化錳 (CrCl_2) 之熔鹽	800~1150	
Cu	固体包裝法	實驗室試驗用	錫粉	—	—
	在液体介質內	同上	熔融之錳	1109	
H	共滲入可採用若干种方法進行之	以氫滲入鋼及鉄內是不適宜的。為了脫碳而在氫氣內進行退火的方法应用尙少	—	—	—
Mn	固体包裝法及在气体介質內 ($\text{H}_2 + \text{HCl}$)	實驗室試驗用	錳粉或錳鐵合金粉	1100~1200	高碳鋼經錳後之硬度極高

元素	滲入法	該法在工業上的應用	所用的滲入材料	在生產中或實驗時所採用的滲入溫度(°C)	擴散層的性質
Mo	固體包裝法	實驗室試驗用	鉬粉或鉬鐵合金粉	1000~1150	硬度不高 耐蝕性略有增加 其性能尚未加以詳細研究
	在H ₂ +HCl或HCl的氣體介質內	同上	鉬或鉬鐵合金	1000~1150	
	在氣體介質內	氣體氮化法在工業上已獲得了應用	氮	500~850	合金鋼氮化後，由於在氮化層內有彌散的特殊元素氮化物析出之故，其耐蝕性與表面硬度極高(達H _v =1100~1200)，鐵與鋼氮化後，其抗蝕性亦很高
在液體介質內	實驗室試驗用	熔融鹽類內不斷地通入氮	500~850	其性能尚未作詳細研究	
Nb	固體包裝法	實驗室試驗用	鈷鐵合金粉	1000~1200	同上
Ni	固體包裝法		鎳粉	1000~1150	有較高的抗蝕性
	在H ₂ +HCl或HCl之氣體介質內		鎳	950~1150	
O	各種方法	在工業上獲得了應用(如發藍)	—	—	

Pb	在液体介質內	鑄鉛在生產中应用之	加有錫或錫之鑄鉛	340~350	有抗大气腐蝕的高耐蝕性
Pd	固体包裝法	實驗室試驗用	鈹粉	>1100	其性能尙未作詳細研究
Pt	同上	同上	鉑粉	>1100	同上
Sb	固体包裝法	實驗室試驗用	錫粉	—	有較高之耐蝕性,特別是在HCl及冲淡之H ₂ SO ₄ 如此
	在液体介質內	同上	熔融之錫	—	
Si	在气体介質內(Cl ₂)	气体滲砂法在工業上獲得了採用	矽鉄合金或碳化矽	980~1050	有着極高的耐蝕性,特別是在H ₂ SO ₄ 、HCl及HNO ₃ 中为然
	固体包裝法	實驗室試驗用	矽鉄合金粉	1000~1150	
	在液体介質內	同上	加有矽鉄合金的熔融氯化鹽	950~1050	
Sn	同上	鍍錫法在工業上应用極廣	熔融的錫	300~315	有抗大气腐蝕的耐蝕力

(續)

元素	滲入法	該法在工業上的應用	所用的滲入材料	在生產中或實驗時所採用的滲入溫度(°C)	擴散層的性 能
Ta	固體包裝法	實驗室試驗用	鉍鉄合金粉	—	滲入後之鋼具有高的抗蝕性能與極高的硬度(H_V 達 1500)
Ti	固體包裝法	實驗室試驗用	鉍鉄合金粉	1000~1200	其性能尚未作詳細的研究
V	固體包裝法	實驗室試驗用	鉍鉄合金粉	1000~1200	鋼經滲入後因其擴散層內有碳化鈦形成,故表面硬度較高(達 $H_V = 900 \sim 1200$) 鉄與鋼經滲入後抗蝕性能略有增加
	在 $H_2 + HCl$ 或 HCl 的氣體介質內	同上	鉍鉄合金	1000~1200	其性能尚未作詳細的研究