

钢的热处理

古里亚耶夫著

東北工學院金屬熱處理教研室編

中国工业出版社

钢 的 热 处 理

古里亚耶夫著

東北工學院金相熱處理教研組譯

中国工业出版社

本书主要内容包栐热处理原理和热处理操作两大部分。前一部分是討論鋼的几种基本轉变——奥氏体的形成、奥氏体的分解、馬丁体轉变和回火时的轉变，以及热处理对鋼的性能的影响，著者在其中論述了他本人的研究成果及論点；后一部分是叙述鋼的热处理实际操作中的諸項問題，包括淬火及回火規程的制定、加热时的氧化和脫碳、淬火的方法及其缺陷（如內应力、变形、裂縫等）、冷处理和淬透性等。此外，著者还另辟独立章节詳細地討論了退火及正火、表面淬火和化学热处理等問題。

本书可供冶金及机器制造工厂工程技术人員参考之用，也可作为高等工业学校的教学参考书。

本书由东北工学院金相热处理教研組李見、閻振聚、梁志德、張兆鴻及刘永銓等同志譯校。

А. П. ГУЛЯЕВ

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕИ МАШИНЫЗ 1953

鋼的热处理

东北工学院金相热处理教研組譯

（根据机械工业出版社重印）

机械工业出版社編輯部編輯（北京東廠門外百万庄）

中国工业出版社出版（北京东厂門外百万庄）

（北京市书刊出版事业登記證出字第110号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行，各地新华书店經售

开本787×1092 1/25·印张14¹⁸/25·插頁15·字数314,000

1956年8月北京第一版

1963年5月北京新一版·1963年5月北京第一次印刷

印数0001—2,600·定价（11-9）2.50元

*

統一书号：15165·2398（一机-500）

目 次

序言.....	7
第一章 熱處理總論.....	11
1 溫度和時間.....	11
2 熱處理的分類.....	12
3 熱處理和平衡圖.....	15
4 鋼熱處理的基本類型.....	17
5 進行相變的熱力學條件.....	19
6 結晶理論的某些概念.....	21
7 起伏理論在形成結晶核心過程中的應用.....	23
8 階次規則.....	26
9 既存的結晶核心的作用.....	27
10 組織的和化學的適應原則.....	28
11 鋼的四種基本轉變.....	30
第二章 奧氏體的形成(第一種基本轉變).....	33
1 按平衡圖研究相變.....	33
2 奧氏體.....	34
3 珠光體轉變為奧氏體的機構.....	36
4 珠光體轉變為奧氏體的動力學.....	39
5 奧氏體的均勻化.....	42
6 原始組織和成分的影響.....	45
7 在連續加熱情況下的轉變.....	48
8 奧氏體晶體.....	50
第三章 奧氏體的分解(第二種基本轉變).....	58
1 轉變的一般理論.....	58
2 珠光體的形成 ($A_{r'}$ -轉變).....	68
3 $A_{r''}$ -轉變.....	78
4 連續冷卻中的轉變.....	81
5 臨界淬火速度.....	86
6 碳和合金元素對奧氏體等溫分解的影響.....	92
第四章 奧氏體向馬丁體的轉變(鋼中的第三種基本轉變).....	98

1 轉變原理	98
2 奧氏體轉變為馬丁體的機構	105
3 馬丁體的本性	111
4 馬丁體的組織	113
5 奧氏體轉變為馬丁體的動力學	116
6 成分對馬丁體轉變溫度的影響	124
7 馬丁體的等溫形成	129
8 奧氏體的穩定化	135
9 在加熱時奧氏體向馬丁體的轉變	142
10 冷卻條件對奧氏體向馬丁體轉變的影響	143
第五章 回火時的轉變(第四種基本轉變)	147
1 回火轉變概論	147
2 回火中的第一種轉變(馬丁體的分解)	151
3 回火中的第二種轉變(殘留奧氏體的轉變)	157
4 回火中的第三種轉變(再結晶過程)	163
5 回火中的第四種轉變(聚集)	165
6 回火中的回歸現象	170
第六章 熱處理對鋼的性能的影響	171
1 概論	171
2 關於鋼的強度的本性	175
3 鐵素體的性能	179
4 馬丁體的性能	187
5 碳化物的性能	190
6 鐵素體-碳化物混合體的性能	191
7 奧氏體等溫分解產物的性能	196
8 回火產物的性能	197
9 奧氏體直接分解的產物與淬火後回火的產物的性能比較	208
10 淬火對回火後鋼的性能的影響	211
第七章 熱處理的實際操作	213
1 淬火溫度的選擇	213
2 加熱速度	214
3 加熱介質的化學作用	221
4 淬火介質	228

5 淬透性	237
6 內應力	246
7 熱處理時鋼的變形	254
8 淬火方法	258
9 無變形淬火	264
10 穩定尺寸淬火	268
11 冷處理	271
12 回火規程的建立	278
13 淬火操作規程	280
14 淬火裂縫的形成	281
第八章 退火和正火	284
1 概論	284
2 完全退火	286
3 亞共析鋼的不完全退火	289
4 球化	290
5 高溫回火	291
6 擴散退火(均勻化)	291
7 正火	292
8 單一熱處理	295
9 鑄鋼的退火	295
10 銲接工件的退火	296
11 熱軋鋼的退火	297
第九章 表面淬火	299
1 概論、表面淬火法的分類	299
2 鉛浴加熱表面淬火	303
3 火焰表面淬火	304
4 電解質加熱表面淬火	305
5 接觸加熱	306
6 高頻加熱淬火	309
第十章 化學熱處理	322
1 概論	322
2 化學熱處理原理	323
3 擴散層的結構	335

4 鋼的滲碳	337
5 鋼的氮化	346
6 鋼的氰化	354
7 滲入金屬法	361
顯微組織照像圖	369

序 言

自古以来人类就已经知道了鋼的热处理。当时人們已经开始使用了鋼，并且知道鋼可以被淬火，从而使之变硬。

在詩人荷馬 Homer(紀元前九至八世紀)的詩篇“奧德賽”(Odyssey)中写道：“当鉄匠把烧紅了的斧头蘸入冷水中时，水里立即发出噼噼之声，并开始沸騰，最后把鉄斧淬得比以前强硬了”〔荷馬‘奧德賽’，舒依斯基(И.А.Шуйский)譯本第九册第391~393頁〕。

老普林尼 (Pliny the Elder) (一世紀)已經相当詳細地描述过应当如何进行淬火的問題。譬如他說：“較薄鋼件一般应淬入油中，如果淬入水中，就将造成脆性的危險”博物学〔(Historia naturalis) 第二十八章，第 148 頁〕，这恐怕是所有的热处理工作者都已熟知的事实。

在热处理的实际使用方面，古代俄罗斯的匠师們就已经达到了很高的技艺水平。苏联历史学家的研究指明，在基輔俄罗斯时代就已经知道了多种其本的热处理方式——渗碳、退火、淬火、回火等。

从很早以前的一些学者和技术工作者的著作和手稿中，我們可以找到关于如何进行淬火、回火及其他热处理操作的知識。

但是这些著作，即使是最卓越的，如阿諾索夫(П.П.Аносов)的研究，也未能超过热处理的实际方面的一些問題；他們只解决了如何获得性能最好的鋼的問題，而沒有回答为什么鋼在某些条件下会得到这种性能。

尽管当时个别的匠师們在鋼的热处理方面已经有了某些惊人的成就，但是他們仅仅是直覺地掌握了这些技艺，而一直停留在这个阶段。致于引起鋼的性能发生剧烈变化的現象的本质，始終是一个莫名其妙的問題。仅仅是在1868年，切尔諾夫(Д.К.Чернов)才指出：鋼的性能須由其內部結構来决定〔按当时称之为‘体质’(Сложение)]，而这种結構是可以随人們的意志而轉移的。切尔諾夫当时已經发现，金属被加热

到某一定的臨界溫度時就會發生結構和性能的突變。

切爾諾夫的這一研究給關於鋼及熱處理的科學觀念奠定了基礎。切爾諾夫乃是科學的金屬學的創始人——“金相學之父”。

在鋼的熱處理方面，後來的研究就其實質而言都是切爾諾夫的創作的發展，它們研究了鋼的內部轉變以及組織和性能之間的關係問題。

在現代的機器製造業中熱處理所起的作用是非常大的，而且這種作用還在逐年地增長着。大量鋼製的機器部件都要經受熱處理，而且愈是重要的機器，其中需要經受熱處理而強化的部件的數目就愈多。減輕機器的重量，節省工具、工件、結構中的金屬消耗，同時改進它們的質量，這些都是蘇聯共產黨第十九次代表大會根據蘇聯發展第五個五年計劃所做的指示中作為頭等重要的任務而指出來的。只有給予金屬以最優良的性能才能完成這一任務，而這首先要藉正確的熱處理方法來實現。

為了完成黨第十九次代表大會的決議，蘇聯的機器製造工作者為減輕機器的重量並改善它們的質量而進行了堅決的鬥爭。

將熱處理推廣到機器製造工業中去，將熱處理的操作建立在科學與實踐的最新成就的基礎上以期使金屬得到最合宜的性能——這些都是解決黨第十九次代表大會向機器製造工作者所提出的任務的根本辦法。

為了以最合理的方法進行熱處理，首先就需要對金屬在熱處理過程中的性能有一個明晰的概念，也就是要盡可能地掌握全部關於相變或各種不同組織的形成的知識。另一個重要的問題就是要知道金屬在各種不同的組織狀態下所具有的性能，也就是需要確定出合金的組織與性能之間的關係。只有知道了轉變是如何進行的，各種組織是如何形成的，它們各具有什麼特性等等，才可以製訂出正確的熱處理規程，並且可以得到最好的組織，從而使金屬具有最優良的性能。

本書旨在闡述鋼的熱處理的理論與實際的一般問題，它並不是熱處理方面的教科書。本書讀者應早已掌握了關於熱處理的基本理論，所以本書只能作為金屬學及熱處理專業高年級學生、研究生和在這方面

的自修者的參考書。

本書既不是一本手冊，也不是一本全面的著作；其中沒有參考性的、指示如何對某種鋼或某種工件進行熱處理的實際數據。而各個機器製造工業部門的熱處理工藝參考文獻已經是十分豐富的了。在本書中只闡述了關於鋼的熱處理的一般性的、最重要的問題。它不是一本全面的著作，因為其中並未將所有的問題均加以充分的敘述。本書只着重地討論了著者所參加過的各項研究的成果。所以凡不屬於著者的科學研究工作中心的各項問題均只簡略地敘述，雖然那些問題就其意義來講可能是值得更詳細地予以闡明的。

著者在本書中企圖闡明熱處理的理論和實際的目前發展情況，而絕不能認為所有的問題，其中包括那些最基本的問題都已經澈底地弄清楚了。在許多問題上仍存在着各種不同的意見，那麼談到這些問題時，著者首先表達出自己的觀點，毫無疑義地，我自己承認，在某些問題方面我的見解還有待大家深入討論。

現代的熱處理的理論和實際的問題都是以蘇聯的金屬學者及熱處理工作者在各方面的成就為基礎的。凡為本書所引述者均已被列在參考文獻表中。當然這裏所列的還是不夠完全，或者說未能全部包括進去，其中只列入了與本書所討論的問題有直接關連的一些著作。

上面所述的關於本書的特點說明了為什麼在參考文獻表中列入了大量的著者本人的著作，著者的關於鋼中的轉變和熱處理操作的著作幾乎全部列入其中了。

關於熱處理原理和操作的論述以及給它們做出結論都需要用實驗資料來加以確證。這些資料多是選自著者及其同事或許多其他研究工作者的著作，在書中對此均有確實的記載。

書中所有的顯微照像圖，除極少數（此時亦已註明）者外，均選自著者及其同事〔彼圖妮娜（Е. В. Петунина），嘉爾金（А. И. Гардин），馬司林尼柯夫（Ф. И. Масленников）等人〕的著作。各種綜括、結論、原理等都是根據著者等所得的試驗資料而來的，其中有些結論在本書的開始就提出來了。

著者對自己提出來的、而且竭力想要達到的目標，乃是要寫這樣一本書，通過它以熱處理基本過程的知識把蘇聯的金屬學者們武裝起來，讓他們利用這些知識更好地去進行熱處理，從而使金屬獲得更高的質量。

古里亞耶夫

第一章 熱處理總論

1 溫度和時間

在根據平衡圖來研究合金中相變的過程時，是以這樣的假定為前提的，即在平衡圖給定的溫度區間內這些相變得以完全完成。

但是為了完成相變需要有一定的時間。改變加熱或冷卻的條件，就可以加速或減緩相變過程，甚至使它完全停滯。

任何熱處理過程的目的都不外是用加熱到某一定的溫度隨後又冷卻下來的方法●使金屬結構產生預期的變化。

溫度和時間是在熱處理時發生作用的基本因素。因此，可以用座標為 t (溫度) 和 τ (時間) 的圖解來說明任何熱處理過程 (圖 1)。

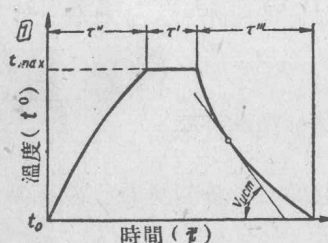


圖 1 熱處理曲線 (簡單熱處理)。

熱處理的規程用下列諸主要參數來表示：加熱溫度 $t_{\max}$ ，即在熱處理時加熱合金所達的最高溫度；合金在加熱溫度下的保溫時間 τ' ；加熱速度 $v_{\text{нагр}}$ 和冷卻速度 $v_{\text{охла}}$ 。

加熱速度 (或冷卻速度) 可用平均值和真正值來表示。

平均速度是以整個溫度區間來計算的，所以

$$v_{\text{нагр}} = \frac{t_{\max} - t_0}{\tau''} \approx \frac{t_{\max}}{\tau''},$$

$$v_{\text{охла}} = \frac{t_{\max} - t_0}{\tau'''} \approx \frac{t_{\max}}{\tau'''},$$

分子為溫度差 (t_0 ——室溫，等於 20°C 左右；由於 $t_{\max}$ 的數值很大， t_0 可略去不計)，分母為時間；因此，加熱 (或冷卻) 速度的因次是度除以

● 更正確地說，是利用改變溫度的方法，因為在所謂冷處理的情況下，合金性質變化是用先冷卻到負若干度，然後再加熱到室溫的方法來達到的。

單位時間——秒、分、小時。

平均加熱(或冷卻)速度可以在給定的溫度區間內測定,不一定要在整個溫度區間內來測。

如果是直線關係,則很显然,加熱(或冷卻)速度是定值。而對於任何溫度區間來說,加熱(或冷卻)速度的平均值就是它的真正值。

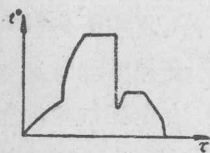
在曲線關係的情況下,加熱(或冷卻)速度是隨溫度而改變的,而在某一溫度的真正速度則應從該溫度導出來,更正確地說,從溫度和時間的無限小的變化中導出來,即是在該溫度下溫度對時間的一級導數

$$v_{ucm} = \frac{dt}{d\tau}。$$

在圖上真正速度是由加熱曲線(或冷卻曲線)在該給定的溫度處的切線與座標軸夾角的正切來確定。

熱處理可能是複雜的,由多次加熱、斷續或分級加熱(或冷卻)或冷卻到負溫度區域等所組成。而這樣的熱處理也還是能用溫度-時間座標的圖解來說明。圖 2 即是這種類型的圖解。

這樣,用溫度-時間的圖解可以表征任一熱處理過程。



2 熱處理的分類

由熱處理所引起的合金性質的改變應該是可以保留下來的。

為了使在熱處理以前呈穩定狀態的合金的性質發生改變,並使之長期保持,必須使合金在加熱時發生相變。這些相變可由平衡圖表明。

如果金屬處在組織上不平衡的狀態下(由於先前處理的結果),則在加熱時由於原子的活動性的增加,使金屬可能更迅速地達到平衡狀態,而它的性質也就隨之而變化。在這種情況下熱處理也是可能的,雖然平衡圖表明在加熱時合金中並無相變發生。

最後,在高溫下利用其他物質使合金表面飽和的方法來處理合金也是可能的。

圖 2 熱處理曲線(複雜熱處理)。

總結以上所述，可以將所有熱處理的型式分成五大類〔按照包契瓦爾(A. A. Бочвар)〔1〕〕。

第一類 原先的處理可能使金屬成為不穩定的狀態。冷塑性變形引起冷作現象——晶粒細碎、晶格歪扭；在凝固時擴散過程來不及進行，甚至在一個晶粒內部金屬的成分也不是均一的；快速冷却或不均衡的施加應力引起彈性變形的不均衡的分佈；用上述各種方法所得的不穩定的狀態，對大多數金屬來說，在室溫下實際上是長時間地被保持着的，在室溫下熱運動不足以使它過渡到穩定狀態。

加熱原子，增大其熱運動，使將金屬引到平衡狀態（取消應力，減低結晶格子歪扭，使晶粒增長，擴散）的過程達到可以覺察的速度。

將某種由於以前處理的結果所得到的不穩定狀態的金屬加熱，使它達到較穩定狀態的熱處理稱為退火。

第二類 如果在加熱時合金中發生相變（同素異型轉變，溶解第二相等），則加熱到某一臨界溫度以上時引起了合金結構的變化。在隨後的冷却過程中進行相反的轉變。如果隨後的冷却進行得相當緩慢，則轉變全部完成。

我們將這樣的處理列為第二類。它的特點為加熱到超過相變的溫度並隨之以低速冷却，使合金達到組織上穩定的狀態，這樣的熱處理也稱為退火。為了將它和第一類處理區別開來，可以稱它為第二類型的退火或相變重結晶。

第三類 如果在加熱時合金中有了相的變化，則逆轉變（冷却時）是否能完成取決於冷却速度。理論上可以假設有這樣的冷却條件存在，即在這樣的冷却條件下逆轉變完全不進行，使合金在室溫下仍然保持其在高溫所具的狀態。這就是淬火。在許多情況下淬火是不完全的，甚或完全不能將合金在高溫時的穩定狀態保留下來。因此，對保留合金高溫狀態的淬火稱為真正淬火，以便與廣義的淬火區分開來，後者不是保留合金的高溫狀態，而是將合金在組織轉變過程中某一階段的狀態保留下來。

第二類處理和第三類處理有着很多共同點。在這兩種情況下合金

都須加熱到相變溫度以上，而其最終的結構則是隨後冷卻時轉變的產物。但在此二類型間也有着原則性的區別。第二類熱處理時冷卻的目的在於使合金接近平衡的狀態，因此，冷卻進行得很緩慢。而在第三類熱處理中冷卻進行得很快，其目的在使合金的組織離開其平衡狀態。

第四類 合金的淬火狀態是不穩定的，甚至在完全沒有熱的作用下合金中趨近較平衡狀態的變化過程也可以進行。將合金加熱使原子有了更大的活動性，就促進了這種轉變。由於提高溫度的結果，淬火的合金愈益加速地趨近平衡狀態。這種處理，即將淬火後的合金在相變溫度以下加熱，稱為回火。如果在常溫或加熱到不高的溫度來施行回火，則這種回火往往被稱為時效。

第一類型退火與回火也有一些共同點。在此兩種情況下熱處理都是使合金趨近組織的平衡狀態。而此兩者的開始階段合金同為不穩定狀態；其區別僅在於第一類型退火的合金的不穩定狀態是由以前的處理得來的，但是，在以前處理的過程中沒有相變進行，而對於回火的合金則處理以前是在淬火狀態。在這種情況下獲得的不穩定狀態由先前進行過的相變來決定。由此可以說，回火總是跟隨在淬火之後的次級操作。

第五類 在提高溫度時金屬有能力溶解各種元素，這樣就使包圍着它的表面的物質的原子向它裏面擴散，造成一具有不同成分的表面層。由於改變了表面層成分的緣故，這種處理得到化學熱處理的稱呼。

根據飽和金屬表面的物質而有各種類型的化學熱處理。

溫度因素在這些過程中佔有重要的地位，因此，不能認為它們是單純的化學處理。

根據以上所述的見解，可以給各種熱處理中主要的術語以簡明的解釋。

退火（第一類型）——將由於以前的處理而呈不穩定狀態的金屬加熱使它達到較穩定的狀態所施行的熱處理作業。

退火（第二類型）——將合金加熱到相變溫度以上，隨之以充分緩慢的冷卻，因而得到組織的穩定狀態所施行的熱處理作業。

淬火——將合金加熱到相變溫度以上隨之以足夠迅速的冷卻，因而得到組織的不穩定狀態所施行的熱處理作業。

回火——將淬火後的合金在低於相變的溫度加熱使它得到較穩定的組織狀態所施行的熱處理作業。

化學熱處理——將合金在適當的化學藥劑中加熱使合金的表層成分改變所施行的熱處理作業。

3 熱處理和平衡圖

我們曾經注意到，由於熱處理的結果，合金的狀態在某種程度上或偏離或接近於由平衡狀態圖所決定的狀態。但是絕不應認為，平衡圖在研究和了解熱處理的過程上是沒有用的。在平衡圖中時間因素是沒有被考慮的。當熱處理時，在溫度的改變下相變隨着時間一同進行，如果不知道穩定的、平衡的合金狀態，那麼要研究時間對變化的影響是不可能的。因此，平衡圖是研究熱處理過程的基礎。

平衡圖首先給出對合金可以施行何種類型的熱處理這一問題的答案，並指出應在哪一溫度區間內進行。

對於第二、第三和第四類型的處理，在合金中應該進行相變，即在加熱時或者是溶解度有很大的變化，或者有同素異型轉變。

所有位於 F 點(圖3, a)左邊的合金在固態時都沒有相變，對於它們就不能施用第二、第三或第四類型的熱處理。任何位於 F 點右邊的合金在加熱時都溶解過剩的相(這裏，原相為 B 在 α 中固溶體)，將它們淬火可以使之成為過飽和固溶體(第三類熱處理)，隨後再加熱可以引起過剩相的析出(第四類熱處理)。

應該指出，在所有的位於點 F 和 D 之間的合金內，加熱可以使過剩的 B 相完全溶解，在高溫下就得到單一的 α -固溶體。當對這樣的合金施行熱處理時，所有的組織都參與變化。對於 D 點右邊的合金，一部分 B 相並不被溶解，這部分組織在熱處理過程中不參與變化。因此，對於濃度相當於 D 點的合金熱處理的效果最大。

雖然圖3, b 的平衡圖與前一平衡圖(圖3, a)在外形上很相似，但

是這種平衡圖中所有的合金都不能進行第二類型的退火、淬火或回火。垂直的 FD 線表示在溫度改變時溶解度沒有變化，因此，在本圖的各種合金內沒有相變。

對具有如圖 3, σ 所示的平衡圖的各種合金可以施以第二、第三和第四類熱處理。在常溫下此圖中所有的合金都是由 $\alpha + \beta$ 相組成。在 t_{ssm} 時 $\alpha + \beta$ 相變成 γ -相。再冷卻時可以使合金受到退火或淬火，這要根據冷卻的速度來決定。第二類和第三類熱處理僅只在加熱溫度超過相變重結晶溫度 t_{ssm} 並形成了 γ -相的條件下才有可能。

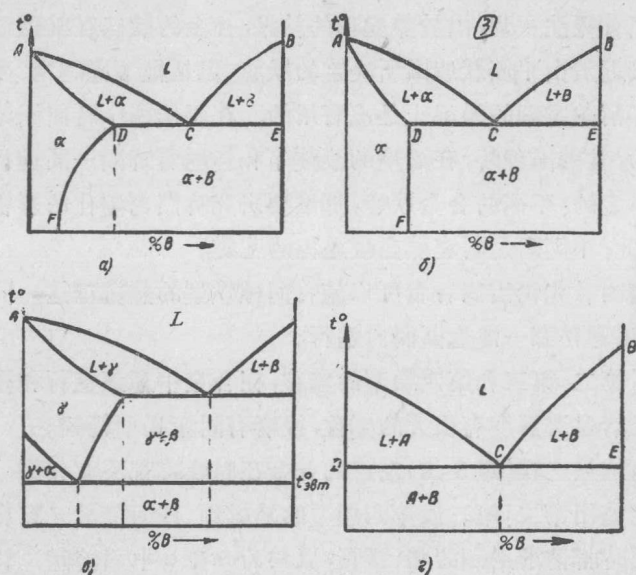


圖 3 平衡圖。

對於第五類熱處理必須使擴散元素能溶解於金屬中（飽和組元溶入被飽和金屬中）。具有如圖 3, a 和 3, b 所示的平衡圖的合金在組元 A 旁有固溶體區，因此，可以施行第五類熱處理，即可以用組元 B 來飽和金屬 A 。對於具有如圖 3, c 所示的平衡圖的合金只有在溫度超過 t_{ssm} 共析時， B 才有可能向 A 中擴散，此時在該系中組元 A 是處在高溫 γ -相的狀態。溫度低於 t_{ssm} 時組元 A 位於 α 狀態，不能溶解 B ，故在此時用 B 向 A 擴散的方法來飽和 A 的表面是不可能的。