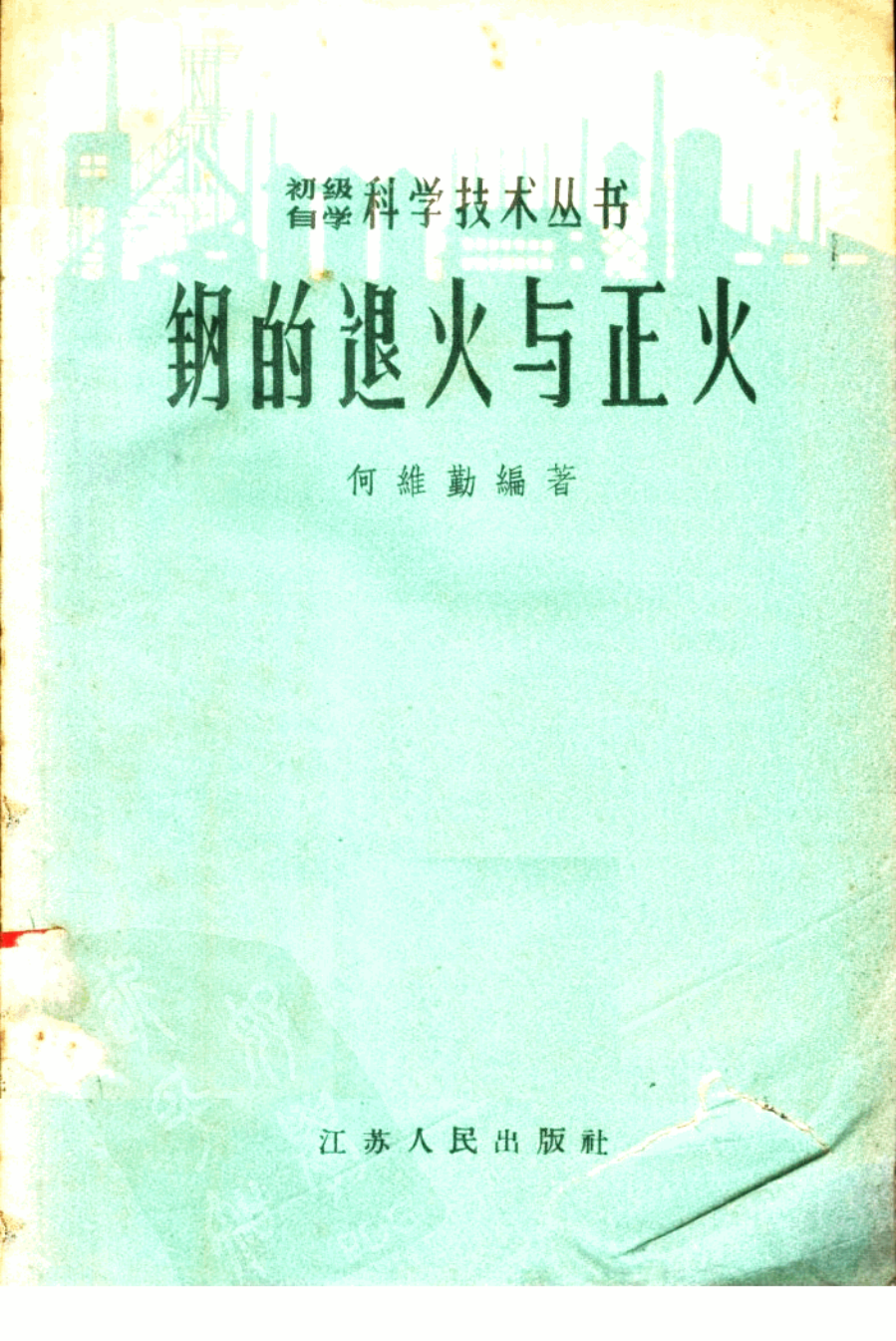




初級科学技术丛书

钢的退火与正火

何維勤編著

江苏人民出版社

目 录

緒 言	1
一、退 火	6
1. 退火的一般知識	6
2. 各种退火的方法	8
(1)再結晶退火法	8
(2)完全退火法	9
(3)不完全退火法	14
(4)球化退火法	15
(5)等溫退火法	17
(6)低溫退火法	20
(7)扩散退火法	21
3. 退火方法小結	22
4. 退火时应注意的几个問題	23
5. 几种工件的退火处理方法	24
(1)工具鋼的退火处理法	24
(2)鑄鋼件的退火处理法	26
(3)热轧鋼件的退火处理法	28
(4)焊接鋼件的退火处理法	28
二、正 火	30
1. 正火的一般知識	30
2. 正火对鋼的性質的影响	31
3. 正火对鋼的組織的影响	33

4. 正火的应用.....	34
5. 正火的操作方法.....	35

附 录

附表 1. 各种鋼在加热和冷却时的临界溫度.....	37
附表 2. 合金結構鋼軟化退火处理規範.....	39

緒 言

鋼的退火與正火處理，通常都是放在其他熱處理工序的前面，因此也可以說是熱處理的最初工序或準備工序。如鍛造後的工件，往往由於加熱溫度很高（經常在 $1000-1300^{\circ}\text{C}$ 左右），有時在高溫下加熱時間過長，使鋼的晶粒因“過熱”而長大，若接着進行淬火等處理會使工件的機械性能變壞而影響使用壽命，因此必須採用退火或正火處理的方法來予以恢復或提高。當退火或正火後的機械性能能滿足工件的技術條件要求時，也可以把退火或正火處理作為最終工序。

退火和正火處理的方法有些相同。如在加熱速度上都是根據鋼料的種類（碳素鋼，合金鋼或高合金鋼）、爐子的種類（氣熱爐、鹽浴爐或高頻加熱）、工件的形狀（簡單的或複雜的）和加熱的方法（普通緩慢加熱或快速加熱）等來決定的。保溫的時間也都是根據工件尺寸的大小，裝爐的情況以及加熱溫度的高低等來決定的。完全退火〔見2—(2)節〕和正火相比較，在加熱速度、加熱溫度（都在上臨界點 A_{c_2} 以上，見圖1）和保溫時間方面可說幾乎一樣，只是冷卻速度稍有不同（退火比正火冷得慢些）。因此有些學者把它們列為同一類型的熱處理過程——第二類退火。所謂第二類退火就是將鋼加熱到臨界溫度以上，有重結晶相變（組織的轉變叫相變）發生的退火處理。因為第一類退火是加熱到臨界溫度以下而不發生相變的再結晶退火處理〔見2—(1)節〕，正火僅由於冷卻較快，所以可看作是退火的一種特殊情況。

退火与正火所不同者为：(1)冷却速度的不同；(2)加热温度有些不同；(3)处理后所得的组织有些不同。

(1)冷却速度方面：退火是将工件放在炉中冷却或在稻草灰、石灰等绝热物质中冷却，冷却速度非常缓慢，因此所得的组织是处于一种平衡的稳定状态。而正火是将工件放在空气中冷却，冷却速度比较快(比淬火慢，比退火快)，因此所得的组织不象退火那样稳定，是处于较不稳定的状态。

(2)加热温度方面：对亚共析钢来讲，退火(指完全退火)温度是 $A_{c3} + (20-30)^{\circ}\text{C}$ ，而正火温度是 $A_{c3} + (30-50)^{\circ}\text{C}$ ，所以正火温度比完全退火温度稍高。而共析钢与过共析钢的退火[指不完全退火，见2—(3)节]温度是 $A_{c1} + (20-30)^{\circ}\text{C}$ ，正火温度则是 $A_{cm} + (30-50)^{\circ}\text{C}$ ，因此退火温度比正火温度要低得多。其他的退火温度如扩散退火或低温退火等与正火温度相比较也是不同的(见图1)。

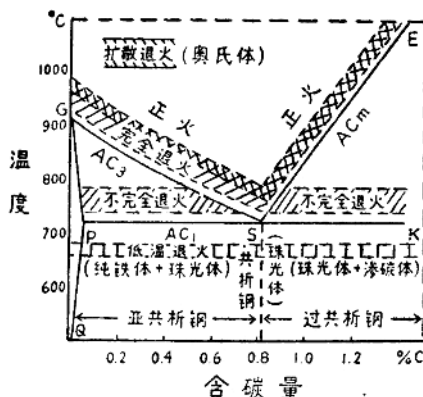


图1. 在铁—碳平衡图上钢的退火与正火区域

(3)处理后所得组织方面：退火以后所得的平衡状态组

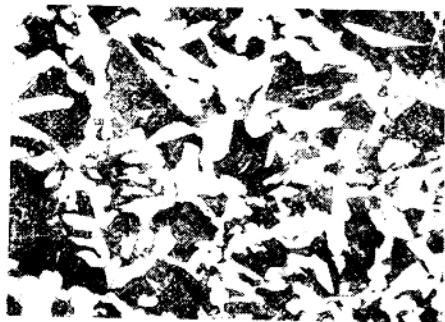


图 2. 珠光体(白色) + 铁素体
(黑色)($\times 500$)

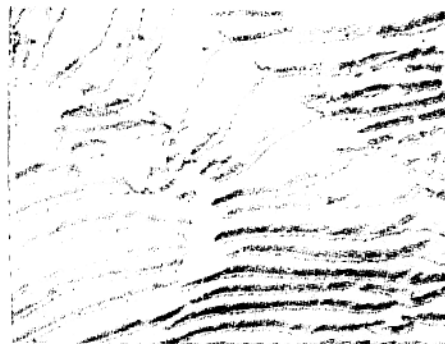


图 3. 珠光体(层片状)($\times 2000$)



图 4. 珠光体 + 铁素体(白色)
网状($\times 1000$)

組織是：亞共析鋼為純鐵體+珠光體(圖2)，共析鋼為珠光體(圖3)，過共析鋼為珠光體+滲碳體(圖4)。在球化退火及不完全退火後所得的組織是：球粒狀珠光體(球狀滲碳體+純鐵體+純

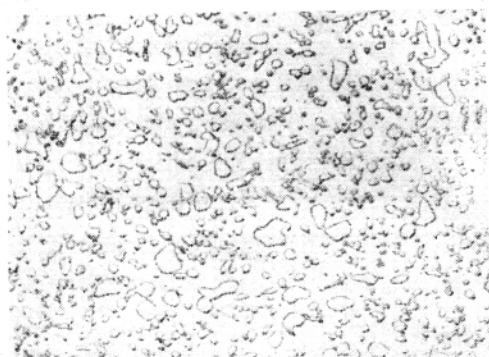


圖 5. 球粒狀珠光體(球狀滲碳體+白色純鐵體)($\times 100$)

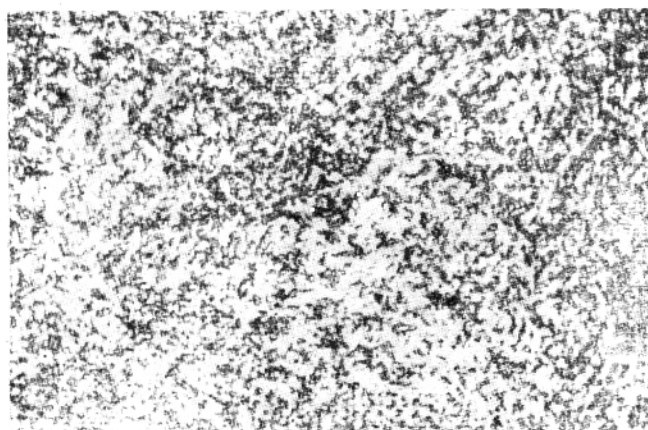


圖 6. 細密珠光體(黑色)+純鐵體(白色)($\times 100$)

鉄体)(图5)。但正火以后,亚共析鋼的組織是細密的珠光体+純鉄体(图6)。

退火和正火在很多情况下被采用,所达到的目的大致相似。通常退火和正火在以下情况采用:(1)細化鋼件的組織,(2)改善切削加工性能,(3)消除冷作硬化,(4)消除內应力,(5)均匀鋼件的化学成份和結構組織,(6)改善組織,为下一步热处理作好准备。

一、退火

1. 退火的一般知識

平常一提到“退火”这个名称,有些人只认为是因为“硬度太高”,切削加工困难,須要把火退掉,变軟以后才能加工。其实退火的作用除了减低硬度,改善切削加工性能以外,还能使晶粒变細,增高延展性和韌性;消除內应力和冷作硬化脆性;消除化学成份和結構組織的不均匀性,为淬火作好准备。此外还能去除鋼中的气体和变更鋼的电磁性質等。

例如从炼鋼厂出来的鋼錠、鑄鋼件或高温加工出来的鍛件,都是从很高的溫度(或过热)下加工出来的,因此高温时的粗大奥氏体晶粒,緩冷下来就形成很粗的珠光体和純鉄体(亚共析鋼)或珠光体与滲碳体(过共析鋼)的晶粒。有时成为特殊形状的魏氏組織(图7、8、9)。在这种組織里,珠光体、純鉄体或滲碳体都排列成有方向性的交叉枝叶状,有些几乎构成了不同角度的三角形。很明显,这种具有方向性的粗大組織,



图7. 低碳鋼魏氏組織($\times 50$)



图8. 中碳鋼魏氏組織($\times 50$)

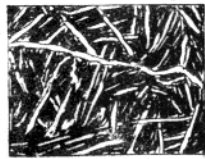


图9. 高碳鋼魏氏組織($\times 50$)

在机械性能方面是非常低劣和脆弱的。为了要改善这种不良的组织，必须要经过退火这道手续，以消除方向性和使晶粒细化，方能适应实际的使用。有些钢材经过各种冷热机械加工以后，内部产生了应力，造成硬脆，也要用退火方法将内应力消除以后，工件才不致于变形和损坏。有些铸造出来的铸坯，表面或内部有很硬的白口组织（游离碳化物），或锻造出来的锻坯，硬度很高，在这种情况下，切削加工困难，也必须要用软化退火的方法，使它们变软以后才能进行加工。还有大钢锭中的化学成份和组织的不均匀，也必须要经过扩散退火才能使之均匀。

那末什么叫退火呢？退火就是把钢件加热到一定的高温（高于临界点 Ac_3 或 Ac_1 以上约20—30°C），在这个温度保持一段时间，使组织内部都成为均匀的奥氏体，然后随炉子一起冷却，或在石灰、稻草灰等良好的绝热体中缓慢地冷却下来；也可在一定的温度（500—600°C）下，从炉中取出于空气中冷却；以及在恒定温度下加以停留来等温冷却。总之，退火是为了使钢中具有细软的珠光体组织。因为只有在布氏硬度约为163—200 H_B 时的珠光体组织的钢，才是最容易切削加工和具有良好的软韧等性能的。

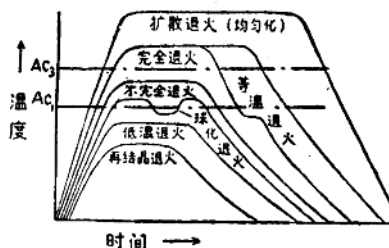


图 10. 各种退火加热方法示意图

究竟退火有多少种类呢?根据不同的要求和目的可分为:
(1)再結晶退火, (2)完全退火, (3)不完全退火, (4)球化退火, (5)等溫退火, (6)低溫退火, (7)扩散退火等七种, 用图形来表示如图10。

2. 各种退火的方法

(1)再結晶退火 鋼板經過冷軋及冷压以后, 鋼絲經過冷拉以后, 或者鉄皮經過冷冲敲击以后, 内部的結晶組織都会变形成为纖維状拉长或压扁的組織(图11), 这种組織产生了很大的內应力(晶粒滑移的結果), 变得很硬, 可塑性很低, 甚至很脆了, 这种现象叫做冷加工硬化现象。因此就不能再

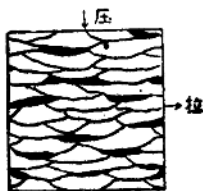


图 11. 冷加工硬化的纖維狀組織($\times 300$)



图 12. 再結晶退火后的組織($\times 300$)

繼續加工下去, 不然就会脆裂。必須經過再結晶退火, 使晶粒歪曲形状消失而恢复到以前等軸的多面体晶粒組織(图12), 才能繼續加工。这时也就消除了內应力, 恢复了細晶粒的韌性和可塑性。

再結晶退火(簡称再結晶)的方法, 就是把冷加工变形硬化后的鋼件, 加热到再結晶溫度(A_1 以下約 $600-700^{\circ}\text{C}$, 见图10), 在这个溫度保持一段時間, 然后緩慢的冷却下来, 这样歪曲的晶粒就能恢复成原状。不过在晶粒恢复过程中, 因小晶

粒合併的結果，有时会有較大的晶粒出現。再結晶的溫度，大約是鋼件熔点的0.4倍 ($T_{\text{再結晶}} = 0.4T_{\text{熔点}}$, T 为絕對溫度，表1是鋼鐵的再結晶溫度)。新生晶粒的大小，还得看变形程度、溫度和保温的时间而定。如变形程度小(低碳鋼8—20%，高碳钢5—15%)，溫度高，保温時間长，那末晶粒就长得快。一般鉄和鋼(碳钢)的最低再結晶溫度是450—500°C，但在实际操作上要使碳钢完全再結晶退火的溫度是600—700°C，而且保温時間可以縮短，能提高生产率。

鋼鐵的再結晶溫度

表 1

金 屬	溫 度 (°C)		
	最低再結晶溫度	再結晶退火溫度	压力热加工溫度
鉄	450(—500)	600—700	1300—800
鋼	450(—500)	600—700	1300(1100)—800

再結晶退火的目的，总括起来为：消除內应力，消除冷加工硬化現象，恢复鋼件的可塑性和韌性，可稍改善切削加工性能。它的用途，主要用在恢复冷加工变形后的机器零件，如冷軋鋼板、冷拉鋼絲、冷冲鉄皮和拉深工件等。

在图13中，可看到螺釘在軋牙后組織的变形情况，而在图14中，經再結晶退火后，螺釘的組織就恢复原状了。

(2)完全退火法 我們知道，細晶粒鋼具有較好的机械性能，尤其是可塑性和冲击韌性要比粗晶粒鋼好得多。但在实际上，如鑄鋼件和有些鍛軋鋼件通常是粗晶粒，这种鋼所制成的工件，就会很脆而至折断。所以象这种粗晶粒鋼就需用完

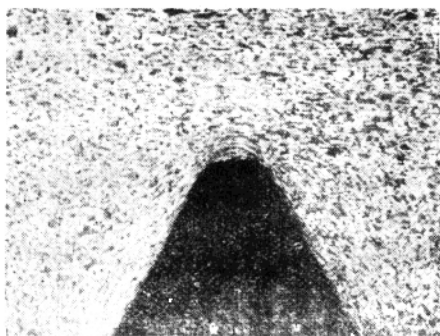


图 13. 螺釘軋牙后組織的变形情况($\times 50$)

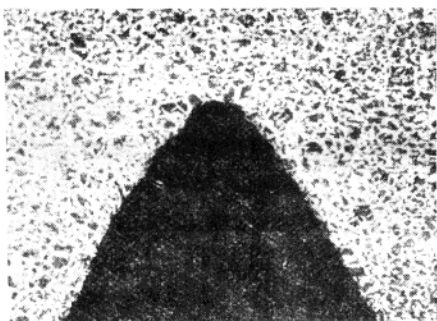


图 14. 螺釘軋牙后经再結晶退火組織恢复原状($\times 50$)

全退火使晶粒結構細化。图15是表示鋼件在退火前的粗晶粒組織, 图16是表示退火以后的細晶粒組織。

完全退火的操作方法, 是把鋼件加热到一定的高温 (Ac_3 或 Ac_1 以上 $20-30^{\circ}C$), 在这个溫度保持一段時間, 然后以規定的冷却速度(見表4)緩慢的冷却到 $500-600^{\circ}C$ 以后再取出在空气中冷却, 使成細勻的珠光体和純鉄体(亚共析鋼)組織或珠光体和滲碳体(过共析鋼)的組織。

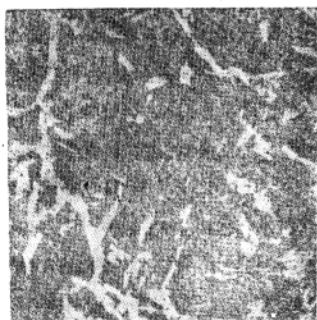


图 15. 退火前的組織($\times 100$)

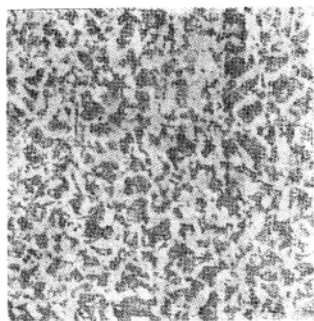


图 16. 退火后的組織($\times 100$)

完全退火的目的是使鋼的晶粒变細 (由于重結晶的緣故), 增高塑性和冲击韌性; 降低硬度, 改善切削加工性能; 消除或減低內应力; 改善組織为以后淬火作好准备。它的功用对于鑄鋼件、鍛件和冲压件 (由于高溫加热的結果) 特別重要。

为什么在 A_{c3} 以上的高溫能使鋼的晶粒細化呢? 因为鋼在加热时候, 不論是粗晶粒或細晶粒鋼, 加热到 A_1 至 A_3 間溫度, 必定要經過奧氏体晶粒細化阶段, 所以退火期間鋼从这个溫度冷却下来就能得到实际細晶粒的組織——珠光体 + 純鉄体、全部珠光体或珠光体 + 滲碳体。

现在进一步看看亚共析鋼和共析鋼在退火时重結晶过程中的变化过程 (图17), 就能使我們对晶粒細化的作用更加清楚。如 (1) 亚共析鋼在溫度低于 A_1 时, 晶粒不发生什么变化 (a)。溫度稍高于 A_1 时 (b) 或到 800°C 时 (c), 发生部分的晶粒重結晶成細匀的奧氏体晶粒。溫度高于 A_3 时就全部变成均匀一致的細奧氏体晶粒 (d)。因此冷却下来就轉变成实际細晶粒組織——純鉄体 + 珠光体 (e)。 (2) 共析鋼在溫度低于 A_1 时, 晶粒也沒有什么变化 (a'); 高于 $A_1 20-30^\circ\text{C}$ 时, 就是比共析溫

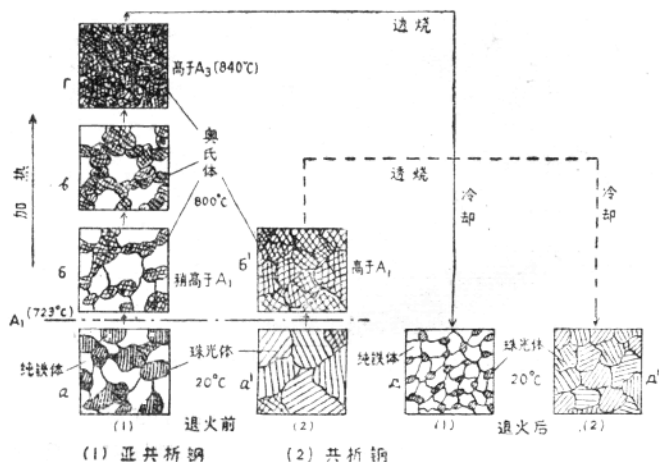
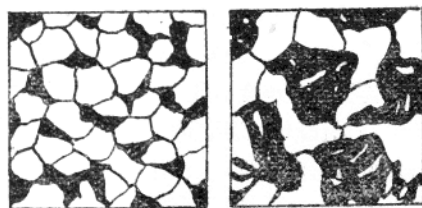


图 17. 退火时钢晶粒的变化过程示意图

度稍高,全部变成细匀的奥氏体晶粒(δ')。冷却下来就转变成实际很细的珠光体晶粒(A')。但如果温度烧得过高,奥氏体的晶粒就会变得很粗,冷却下来的时候,同样得到粗大的珠光体和纯铁体或珠光体组织。这种过热退火的钢(图18乙),脆性很大,应重新经正火或退火处理才能使用(图18甲)。



甲. 正常退火 乙. 过热退火

图 18. 退火钢内组织

碳鋼的完全退火溫度和退火後的硬度如表2所列。一般低碳鋼的溫度範圍為890—920°C, 中碳鋼的溫度範圍為800—860°C, 高碳鋼的溫度範圍為760—780°C, 合金鋼的溫度範圍為780—800°C, 高速鋼的溫度範圍為870—890°C。進行完全退火的一般是含碳0.5—0.6%的亞共析鋼或共析鋼。而冷卻的方法也各不相同, 如鑄鋼在冷卻到630°C以前, 熱軋鋼件在

碳鋼的退火溫度和硬度 表 2

碳素結構鋼						碳素工具鋼		
鋼號	退火溫度 °C	硬度 H_B 不大於	鋼號	退火溫度 °C	硬度 H_B 不大於	鋼 號	退火溫度 °C	硬度 H_B 不大於
08	920	131	尤 1	920	111	太 7 (4)	760—780	187
10	900	137	尤 2	900	116	太 8 (4)	760—780	187
15	900	143	尤 3	900	131	太 9 (4)	760—780	192
20	880	156	尤 4	880	143	太 10 (4)	760—780	197
25	880	170	尤 5	860	170	太 12 (4)	760—780	207
30	850	179	尤 6	840	197	太 13 (4)	760—780	217
35	850	187	尤 7	820	229			
40	840	197						
45	840	207						
50	820	217						
55	820	229						
60	800	229						
65	800	229						

注: 碳素工具鋼欄內有(4)的, 如太 7 (4)代表太 7 與太 7 4 兩種鋼, 余类推。

冷却到 500°C 以前，就可从炉中取出在空气中冷却。碳钢的冷却速度为每小时 $100-200^{\circ}\text{C}$ ，合金钢为每小时 $50-100^{\circ}\text{C}$ ，高合金钢为每小时 $20-60^{\circ}\text{C}$ 。通常是随炉一同冷却下来，或冷到 $500-600^{\circ}\text{C}$ 以后，放在空气中冷却。又如碳素工具钢以每小时 50°C 左右冷到 $600-550^{\circ}\text{C}$ 后空气冷却。高速钢须以更慢的冷却速度约每小时 $20-40^{\circ}\text{C}$ 冷到 $750-760^{\circ}\text{C}$ ，再在这个温度以每小时 $6-10^{\circ}\text{C}$ 速度冷到 600°C ，然后再在空气中冷却到室温；最后硬度约在 $H_B 207-235$ 之间。不过这样所费时间很长，因此一般常用等温退火方法[詳二(5)节]来代替。

如果原来粗大的組織，用完全退火方法很难改变过来时，那末可用两次退火法。第一次退火是在 $900-1000^{\circ}\text{C}$ 高温时进行，第二次退火是在 A_{c3} 以上 $20-30^{\circ}\text{C}$ 温度下进行。高温退火的目的是使不均匀的化学成份成为均匀。

高速钢和合金钢退火时，因为加热时间较长，为了防止表面氧化，可先把钢件装入铸铁箱中，工件四周用填料如木炭屑、焦炭屑、生铁屑或砂填满，再送入炉里加热。不过要注意填料的使用温度，如木炭屑为 $820-850^{\circ}\text{C}$ ，焦炭屑为 $910-1100^{\circ}\text{C}$ ，砂为 $750-850^{\circ}\text{C}$ ，如果温度过高，就会使工件发生渗碳现象。

(3) 不完全退火法 又叫部分退火法，这种退火的方法是把钢件加热到 A_{c1} 点以上(见图1)，和 A_{c3} 或 A_{cm} 以下，在这个温度保持一段时间，然后以一定的速度缓慢地冷却到珠光体转变的温度以下。通常碳钢在不完全退火时大多加热至 $770-800^{\circ}\text{C}$ 。

不完全退火的目的，是消除内应力，改变珠光体組織(因珠光体部分重结晶的缘故，使厚片状变为薄片状，层状变为粒状，但铁素体仍保持原来的分佈状态)，减低硬度使容易切削