

鋼 鐵 熱 處 理

下 冊

許 冶 同 編

東 北 工 學 院 出 版 科

1 9 5 4

第六章 鋼 的 淬 火

§ 1 淬火溫度的選擇

碳鋼的最適宜的淬火溫度，由變態點 A_1 與 A_3 的位置決定之，圖58示鋼的淬火溫度。亞共析鋼加熱至 Ac_1 以上，但在 Ac_3 以下溫度，則純鐵體不受變化，而保持原狀，淬火鋼中構成純鐵體十馬登體的組織，降低淬火鋼的硬度。所以亞共析鋼淬火時，必須加熱至 Ac_3 以上溫度，使純鐵體全部溶解於奧氏體，才得施行淬火。反之，過共析鋼的淬火溫度應以 AC_1 —— AC_m 間的溫度為適宜。淬火鋼中組織含有過剩的滲碳體，反而有利。例如過共析鋼1.25%，其組成約為94%珠光體，6%滲碳體。若加熱至 AC_1 以上溫度，則94%珠光體變為奧氏體，從此溫度急冷，則可得94%的馬登體，而原來殘留的6%滲碳體比馬登體尤硬，不但不減低淬火鋼的硬度，且可增高其耐磨性。若加熱至 AC_m 以上溫度，雖可使全部滲碳體溶解於奧氏體，但由於提高加熱溫度的結果，將使晶粒成長，增高淬火應力，促進表面脫碳，且因淬火溫度增高，增加殘餘奧氏體的量，並降低淬火鋼的硬度。因此亞共析鋼淬火時，最適宜的加熱溫度為 $Ac_3 + 30—50^\circ$ ，而過共析鋼應為 $AC_1 + 30—50^\circ$ （ AC_1 與 AC_m 間的溫度）。即亞共析鋼的淬火加熱溫度為 $825—875^\circ$ ，共析鋼及過共析鋼應為 $775—825^\circ$ ，碳工具鋼約為 $780—820^\circ$ 。

如淬火溫度比預定溫度更高，則晶粒粗化，不但不能得到充分的硬度，且將招致淬火變形或開裂。若加熱至預定淬火溫度以上的高溫，假令降至淬火溫度，再行急冷，比之加熱至預定淬火溫度而急冷者性質較劣。所以最高加熱溫度與淬火溫度，應當一致。淬火溫度因物品大小及形狀而異，斷面大的鋼件，應比小件採用較高溫度，形狀複雜者應從較低溫度施行淬火。

原始細粒鋼過熱至 AC_3 以上較高溫度，仍然不見晶粒的成長，可達到奧氏因溶體均一化的溫度，並由此提高鋼的機械性質。但是淬火過熱只限於原始細粒鋼，若是原始粗粒鋼，則過熱就要促使晶粒成長，並減低韌性，增大內應力。淬火溫度增高時，要使馬登體組織變成粗針狀結晶，因之減低其韌性，所以加熱溫度過高，只有促使晶粒粗化，材質脆弱，招致不良的後果。若操作不慎，而致過熱，則應先冷至 A_1 點以下溫度，使其變為珠光體組織，而後再加熱至預定的淬火溫度而急冷之。如過熱程度甚劇，應依常化以調整其材質。

工業上用的鋼材含有各種雜質，其變態點並不與 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 平衡圖規定的變態點相一致。爲了正確地選擇淬火溫度，應當測定每種鋼號的變態點。

一般在淬火前，應使加熱溫度高於變態點 $30-50^\circ$ ，這是爲保證淬火的鋼件在浸入冷卻劑時，其溫度不至低於變態點 A_{r1} ，所以必須加熱至稍高於變態點的溫度。若加熱至與變態點非常接近的溫度，則在鋼件轉移到淬火槽中時，雖然花費很少時間，實際上不能察覺鋼件溫度的降低，但仍不能保證其得到完全淬火。碳鋼淬火轉移到淬火槽時，其溫度的下降就要超過 30° ，因此，必須加須加熱至 $AC_3 + 30-50^\circ$ ，才能保證其受到完全淬火。

§ 2 加熱速度及加熱時間

快速加熱可以提高熱處理車間的生產率，並減低熱處理的生產費，所以熱處理操作力求快速加熱，以縮短作業時間，增大產品數量。加熱方法有多種，除爐熱外，時常使用電熱或鹽浴、鉛浴、合金浴等。若用鉛浴或鹽浴，則比爐熱較爲迅速，且使用熔浴得以全面地均等地加熱，促進熱度上升，迅速地達到所要的溫度。但是鋼件表面雖然迅速地達到與周圍介質同樣的溫度，而其內部的熱度因鋼的斷面大小及導熱度而大有差別，因之必須使鋼件升至預定溫度後，保持一定時間，才能達到全面均一的溫度。此溫度的均一，實爲熱處理操作中最重要的一环。尤其是大件物品或導熱度較低的材料，必須徐緩加熱並保持相當時間，以促進全部溫度均一化。

圓柱形的材料加熱時，可適用下列的加熱時間（包括昇熱時間與保熱時間）。

第30表 各種介質中加熱時間

介質及加熱溫度	每一毫米直徑的物件需要的時間（秒）
在 爐 600°	100
在 爐 800°	50
在 鹽 浴 800°	25
在 鉛 浴 800°	10

當正方形斷面的半成品加熱時，其加熱時間應爲以上數字的 1.5 倍。若是板狀物品應增至兩倍。

§ 3 淬 火 介 質

當淬火時，要使過冷的奧氏體到達馬登體變態溫度不起變化，必須迅速冷卻。但這

不是說在整個的溫度範圍(自加熱溫度以至室溫)，都需要急冷，而只是在奧氏體最不穩定而轉變為純鐵體+滲碳體的混合體最迅速的溫度範圍，必須施行急冷，即在 650° — 400° 間的區域需要急冷。然 650° — 400° 以下溫度，奧氏體重新表現穩定，冷卻可以較緩。最後在馬登體變態區域，為了避免由於急冷產生的熱應力與組織應力起見，應當緩慢冷卻。因此，理想的淬火冷卻曲線，應當如圖59所示。冷卻速度分為三個階段，最初應當迅速地通過奧氏體最不穩定的區域，到達 M_s 點以下應當緩冷。

如上所述，如要使鋼完全淬火成為馬登體組織，必須將加熱至 A_{c3} 以上的鋼，用大於臨界淬火速度施行急冷。若冷卻速度低於臨界淬火速度，則不能防止奧氏體在 A_{r1} 點

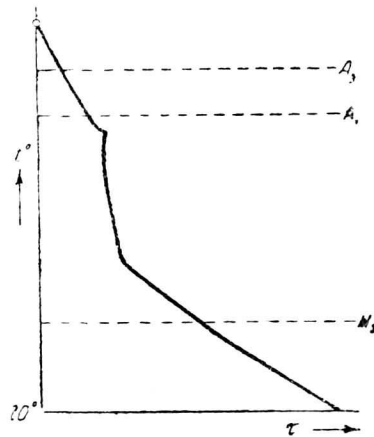


圖59 理想的淬火冷卻曲線

的溫度範圍分解，致令產生馬登體與大量的屈氏體組織，就是鋼得到不完全的淬火。為了獲得鋼完全淬火所需的冷卻速度，首先決定於鋼的化學成份及馬登體變態點 M_s 的位置。 M_s 點愈低，則鋼的過冷能力愈大，而使鋼完全淬火的冷卻速度就可愈小。

實際上保證鋼完全淬火的冷卻速度，由其所選擇的冷卻劑決定之。通常使用水與鹽，碱，酸的水溶液，礦物油與植物油，空氣，及熔融金屬或熔鹽作為冷卻劑。這些淬火用冷卻劑的作用，決定於各別的物理性質。主要地由下列因素而決定之：（1）比熱，（2）導熱度，（3）粘性，（4）揮發性。比熱的大小，決定其吸熱的能力，導熱度也與吸熱速度有關，比熱與導熱度愈大，則熱的放散愈易，冷卻愈速。粘性大者流動性不佳，散熱甚緩，揮發性與氣化溫度有關，淬火初期蒸氣圍繞鋼件表面妨碍冷卻。所以冷卻劑中以比熱導熱度大，而粘性小不易揮發者，淬火效果最佳。

上列淬火劑在熱處理中兩個溫度範圍的主要作用如次：

(1) 在 600° 附近。爲了防止奧氏體的分解，必須急冷，在此溫度範圍愈能活躍地冷卻，則其淬火劑的急冷作用愈強。

(2) 在 200° — 300° 附近。即在許多鋼種形成馬登體的溫度範圍，淬火劑的冷卻愈緩，則其對於引起應變及淬裂的關係上，愈爲安全便利。所以淬火劑的選擇，應當基於在 600° 急冷，而在 300° 緩冷的原則，而決定之。下表示各種冷卻劑在此兩溫度範圍對鋼淬火的冷卻速度。

第31表 各種淬火劑對鋼的冷卻速度

淬 火 劑	在下列溫度範圍的冷卻速度 $^{\circ}\text{C}/\text{秒}$	
	$550-650^{\circ}$	$200-300^{\circ}$
水 18°	600	270
水 26°	500	270
水 50°	100	270
水 74°	30	200
NaOH 10% 水溶液 18°	1200	300
NaCl 10% " 18°	1100	300
Na_2CO_3 10% " 18°	800	270
硫 酸 10% " 18°	750	300
蒸 溜 水	250	200
乳 化 油	70	200
肥 皂 水	30	200
礦物機器油	150	30
變壓器用油（再製植物油）	120	25
錫鍋合金 75% Sn , 25% Cl ($t=175^{\circ}$)	450	50
水 銀	500	135
銅 板	60	30
鐵 板	35	15

水是最常用的淬火劑。水在 $550-650^{\circ}$ 溫度範圍急劇冷卻，直至形成馬登體的溫度範圍 $200-300^{\circ}$ ，仍然急冷，所以不能符合於理想的冷卻條件。若水的溫度上升，則其淬火能力（ $550-650^{\circ}$ 的冷卻速度）劇減，但對於馬登體變態區域的冷卻速度的影響極小。油與冷水相比較，其淬火能力少了 3—4 倍，而在馬登體變態區域的冷卻速度油比

水慢到十倍。關於此點，油冷比水冷較為有利。由上表可以看到：水與水溶液的淬火能力，隨着溫度的增高而減低，而油的淬火能力，隨着溫度的上昇，而稍見增加。這是由於油的流動性隨溫度的提高而增大的結果，同時淬火劑的對流，也提高它的作用的結果。

若水加熱至 $50-60^{\circ}$ ，則在應當急冷的溫度範圍 $550-650^{\circ}$ ，與油幾相等，但在馬登體變態範圍，並不減低其冷卻速度。所以水淬火時，水的溫度以 $20-30^{\circ}$ 為宜，若超過 40° ，則冷卻速度急減，對於高碳鋼不能適用。如果水中存在着他種不溶解的添加劑（如乳化油肥皂水等），就要大大降低其淬火能力。因此不論其為熱水或乳化油等，都是和油一樣地不能保證其強烈淬火，但不能替代油。合金鋼的臨界淬火速度較小，可用油為淬火劑，但不能用熱水或乳化油。

油的最顯著的特點：是油淬火時對於溫度變化不甚敏感。即油在 20° 淬火與在 $120-150^{\circ}$ 時，具有同等的淬火能力。且油在馬登體變態範圍的冷卻速度極小，所以比水淬火產生極小的應力。油的沸點比水較高，溫度上昇時，粘性減小，而增高其淬火能力，因此，使用溫油與熱水不同，不至有淬火不充分的缺點，且能減小淬火應力，避免破裂，通常使用 $30-60^{\circ}$ 溫油淬火。

淬火劑的油應（1）具有高的發火溫度；（2）冷卻能力保持不變；（3）不變濃，不被氧化，弱酸性；（4）不應使淬火另件附着油的焦痕。礦物油最能滿足這些要求，若操作恰當，能得到十分淨潔的表面，這是對於尺寸準確與小零件的處理很重要的。油的缺點，是（1）容易着火（視油的種類其燃點自 150° 以至 320° ）；（2）淬火使用回數多，就要更換新油，使用期限較短；（3）鋼件表面容易被油污損，形成燒焦的層膜。

當在水中冷卻時，淬火的金屬表面上迅速地形成一層蒸汽薄膜，圍繞表層，使金屬不能與淬火液直接接觸。若在噴水或流水中淬火時，此蒸汽層即被冲散，使淬火劑容易與鋼件表面接觸，增大其冷卻能力。當在油中淬火時，也形成同樣的氣層，在淬火劑強烈的循環之下可以消除，因之促進其淬火能力。有些鹽或酸的水溶液，具有比水更強烈的冷卻能力，這是由於它們的物理性質不同以外，能使鐵的銹皮很快的脫落，並使淬火劑易於進入鋼件的表面。例如加入適量的食鹽，則淬火初期形成的蒸汽層儘早消除，此時食鹽結晶與灼熱鋼件表面接觸而爆裂，因之破壞蒸汽薄膜的安定性，而促進早期的淬火冷卻速度。由此可見：食鹽比水並非更劇烈的冷卻劑，不過對於消除汽層，具有較大的

效力。反之，水中加入肥皂，起相反的作用，因其增長汽層的持續時間，減低其冷卻能力。蒸溜水或雨水不含鹽類者，比之普通水在 $550-650^{\circ}$ 間，其冷卻速度慢到兩倍。如水中含有 CO_2 氣體，亦降低其淬火能力。因之沸水冷卻後，比之生水淬火能力更大。各種來源不同的水溶解着各樣鹽類，具有不同的淬火能力，若其中溶解着酸或鹽類，則可增高其在 $550-650^{\circ}$ 間的冷卻速度約至二倍。

§ 4 淬 火 應 力

在加熱與冷卻時，發生溫度變化或相的變化，因此淬火後的鋼，內部發生殘留應力，或稱為內應力。由於在物體的各部份中引起不均一的殘留變化的外在原因，發生內應力，當外力消除後，而應力仍然殘留於物體內部。

內應力可分為熱應力及組織應力二種。表面與內層的溫度各異，冷卻不均，致令發生熱應力。此時冷卻速度愈大，則其冷卻不均的程度亦愈甚。淬火時，外層先急冷開始收縮，因此，內層受着壓應力，而外層被尚未冷卻的中心所拉伸，受到張應力。繼續冷卻時，溫度差減小，同時內層體積接近於外層體積，因此使應力減小。在最後冷卻以後，中心層的體積也會收縮，但此時外層業經冷卻硬化，失却塑性，妨碍其收縮，致令中心部發生甚大的應力，其結果在表面層發生壓應力，而在內層發生張應力。

在淬火未曾淬透的試料中，當其表面形成馬登體組織以後，其中心按其冷卻速度的大小，形成比馬登體比容較小的屈氏體與梭斑體。在各部份變態完畢後，內層受着張應力，而外層受着壓應力。

熱處理時，由於鋼件各點的溫度不同，或變態時間各異，產生內應力。若此內應力超過彈性極限，則起變形。若超過抗張強度極限，則發生裂紋。鋼加熱在 A_{c1} 點以下溫度時並無組織上的轉變，僅發生熱應力。若加熱至 A_{c1} 點以上溫度，則產生組織應力。如組織應力與熱應力的符號相同，則由於熱的變化與相變同時發生應力的結果，等於兩種內應力的總和。如兩者方向不同，則將互相抵消而減少。

如上所述，由於冷卻時變態的不平衡，發生熱及組織應力。斷面層各別的點，在某一時，其溫度各異。假令在一定瞬時間，各點溫度相同，但此時由於鋼成份不均一，也會發生組織應力。若兩隣層以同一速度冷卻，並在冷卻時，具有同一溫度，但由於鋼成份的差異，一方奧氏體過冷至馬登體變態，而他方轉變為屈氏體。因為兩者比容的不同，就要發生組織上的內應力。所以鋼件中發生的內應力，主要地由於相變的結果。即奧氏體的比容最小，而馬登體的比容最大，馬登體 $>$ 屈氏體 $>$ 珠光體 $>$ 奧氏體。同時奧

氏體的線膨脹係數與馬登體的膨脹係數，也有差別。當金屬內部存在化學的不均一（偏析）時，由於熱應力與組織應力的共同作用，使在不同形狀與尺寸的零件中，產生極端複雜的應力分佈圖。總之，內應力與下列因素有關：（1）鋼的成份；（2）冷卻速度（冷卻速度的增加是產生殘餘應力的最重要因素）（3）斷面的大小；（斷面愈大則內應力亦愈大）（4）加熱的均勻度；（加熱愈不均勻則內應力愈大）（5）淬火深度；硬化力愈小則內應力愈大）（6）晶粒大小；（實際粒度愈粗則殘餘應力愈大）（7）回火溫度。（回火溫度愈高則內應力愈小）。

由於應力的作用，而產生任何一種缺陷，都是由拉伸時彈性極限與強度極限的大小所決定的。在 $300-400^{\circ}$ 時， σ_b ， σ_s 的值與在常溫時的強度極限與彈性極限相差較小。在高溫超過 $500-600^{\circ}$ 時，彈性極限與強度極限急劇下降，所以加熱到不高的溫度，將引起彈性變形，而加熱至較高溫度，得引起塑性變形即在除去了造成此種變形的原因以後，仍然不能消失的變形，因此造成鋼件的變形與彎曲。

§ 5 淬 火 方 法

熱處理諸操作中，淬火作業最為重要，必須適應鋼的成份，形狀及所需目的，而採用適當的措置。淬火操作的基本方法有下列數種：

1 單一冷卻劑的淬火——普通淬火（圖60曲線 a）

此為使用單一的冷卻劑，最常用的淬火操作。凡碳鋼及合金鋼形狀不複雜的鋼件，大都採用此法。鋼件先加熱至淬火溫度，而後浸入淬火劑中，到完全冷卻為止。通常直徑大於 5 毫米的碳鋼零件，以水為淬火劑，但尺度較小的鋼件及許多合金鋼，使用油冷。此種淬火可用機械化自動化操作，即鋼件從加熱爐自動地進入淬火槽中。有時為減少內應力起見，先使其在大氣中放冷片時，再投入淬火劑而急冷之，如是可減低應變不至發生裂紋。

2 二重冷却劑 淬火——中斷淬火（圖60b）

此法先把鋼件在急冷劑中冷却，而後使用緩冷劑，通常最初用水冷，而後用油冷或用空冷。依此法可使在馬登體變態區域使用比較的緩冷，因之減低內應力。此中斷淬火，即二重淬火，主要地適用於高碳工具鋼。

鋼件放置於第一淬火液的時間極短，須以秒計，若放置水中過久，則將冷却至馬登體變態點M以下，且在水中急冷，將招致彎曲或開裂。若鋼件放置水中的時間太短，則鋼不能冷至奧氏體最小穩定的溫度（C曲線彎曲點）以下，此時鋼件不能形成馬登體，而發生屈氏體變態。且在中斷淬火時，鋼件從水取出瞬間，其中心部份比之表面，仍保持較高的溫度，所以從水取出太早，則將發生自身回火的現象，就是中心部份的高溫度，將促成表面層的回火。依此法淬火對於鋼件放置水中的時間極關重要，必須準確掌握，才能得到良好的效果。如果要保證其獲得的一而且準確的成果，應當用自動化裝置，並需要高度熟練的技術。

通常中斷淬火，依據鋼件厚度，決定從水中取出的時間，即用每厚三毫米一秒的比例，而決定水中放置的時間。如工具厚24毫米，則浸水8秒後取出油冷，如是可避免開裂或彎曲，而得良好結果。另一方法，當鋼件淬火水中，因水激動發出音響，等待音響停止，立即從水取出，此適用於靜止水槽淬火，可以掌握水中放置的時間。

3 分段淬火 圖60曲線C

中斷淬火的鋼件從水移至油中時，各部份的溫度不均，薄的部份冷至較低溫度，發生不同的轉變。此外要保證鋼件在水中停留極短時間的準確而恰到好處，是極難控制的操作。如用分段淬火，足以去除其缺點。其法先將鋼件浸入稍高於鋼的馬登體點的淬火液中冷却，（通常用熔融鹽浴）在此淬火劑停留與冷却中，可使淬火鋼件在全斷面，都能獲得與淬火槽同一的溫度，而後抽出空冷（或油冷），此時才進行淬火，產生A→M的變態。此法使淬火冷却分為二個階段，可以減少內應力至最低限度。

如前所述，淬火時，快速冷却僅是在高溫度範圍（650—500°）是必要的，而在奧氏體→馬登體變態溫度範圍，完全是不必要的。不但如此，在此馬登體變態時的快速冷却，反而產生不良影響，因為急冷增大表面與中心的溫度差，促成附加應力的發生。如

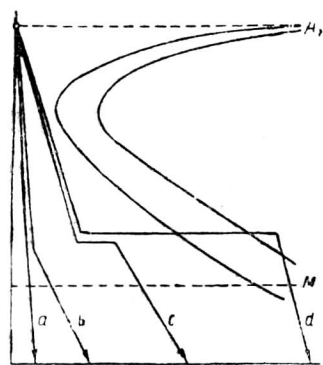


圖60 各種淬火方法的冷却曲線

果爲了獲得鋼必需的組織，依據奧氏體在不同溫度範圍中轉變的規律性（即依據C曲線），擬定鋼的冷卻規程，便可得到更爲良好的結果。當連續冷卻時，隨着溫度的低降，促使表面與中心的溫度差增大，就會引起不良的後果。現在爲了防止奧氏體在高溫轉變，而進行快速冷卻，然後利用奧氏體在稍高於 M_H 點增大的穩定性，停止冷卻，且作等溫停留（圖61），使表面與中心的溫度都與淬火劑的溫度相等，以後可以任何速度進行冷卻，都能得到淬火組織——馬登體。依此法按照C曲線的數據，建立的分段淬火方法，可使應力變形與歪曲減至最小限度。

在冷卻劑中停留時間，不宜大於奧氏體孕育期的時間。就是停留過久，則奧氏體將轉變爲針狀屈氏體，不能得到馬登體組織。這樣的淬火方法，即是在上部的溫度區域內，快速冷卻，而在稍高於 M_H 點的溫度停止冷卻，最後當奧氏體轉變爲馬登體時，緩

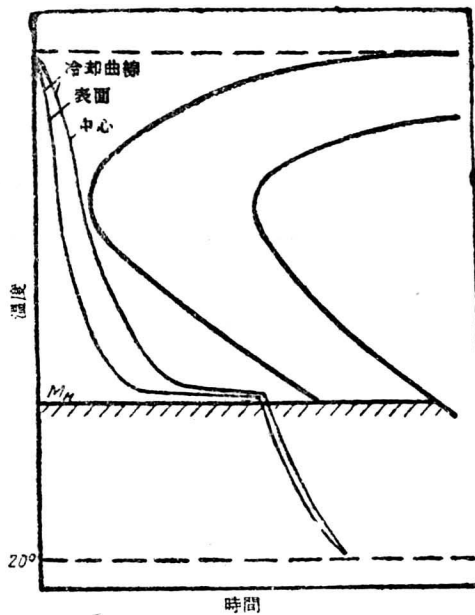


圖 61 分級淬火成馬金體的圖形

慢冷卻，所以稱爲分段淬火。但分段淬火，受着鋼件尺度的限制，其厚度應爲12—14毫米，對於大斷面的鋼件，熱浴的淬火劑冷卻較緩，不能達到臨界淬火速度。

此法對於臨界淬火速度小的油淬火合金鋼，沒有多大效用。因爲油淬火不至引起巨大的弊害及內應力，所以只有一定限度內的尺度之水淬火鋼（碳鋼及低合金鋼）適用分段淬火，而對於油淬火鋼效果較小。

淬火劑中使用的熔融鹽浴如次：

第32表 等溫淬火用鹽浴劑

鹽 類	熔解溫度 °C	使用溫度 °C
55% KNO_3 + 45% NaNO_2	137	150—400
55% KNO_3 + 45% NaNO_3	218	230—500
NaNO_3	317	325—600
KNO_3	337	350—600
$\text{KOH}75\% - \text{NaOH}25\%$	140	150—300

以上各種鹽浴劑，可依分段淬火所需要的溫度選擇使用之。

4 等溫淬火 圖60曲線d

如果淬火的目的，並不是必須獲得馬登體，則可在稍高於 M_H 點的溫度停留更久，使奧氏體完全分解，發生從奧氏體形成針狀屈氏體的等溫變態。這種在一定溫度進行奧氏體變態的淬火，稱為等溫淬火。此與分段淬火的區別，是等溫淬火必須將鋼件長時間停留在淬火劑中，使奧氏體完成等溫變態。通常使用奧氏體的等溫分解的溫度為 250—300°，在此溫度範圍，奧氏體轉變為針狀屈氏體。由此淬火方法可使鋼件獲得高硬度（ R_c40-50 ）與高韌性。在等溫淬火所得到的組織的分散度與其理解，決定於停留的溫度，其停留的溫度愈高，則其分散度與硬度愈小。

分段淬火與等溫淬火與普通連續冷却的淬火的區別，在於前兩者使用的冷却劑，不僅要保證一定的冷却速度，而且應當保證鋼件冷却到完全確定的溫度。至於淬火槽的冷却能力，決定於液體冷却劑的導熱度與流動性，為了得到應有的效果，冷却槽的溫度在停留期間，應當保持不變。所以應採用具有充分體積的熱浴槽，免致被灼熱鋼件，增高冷却劑的溫度，並應使熱浴循環流動，以防止其溫度上昇，同時可使鋼件快速冷却。分段淬火與等溫淬火的主要優點，在於能顯著地降低淬火時發生殘留應力的可能性，並顯著地減少鋼件產生裂紋或歪扭的危險性。等溫淬火時，應在淬火液中停留的時間，決定於該溫度奧氏體變態所需的時間，而此時間與溫度的關係，可由每種鋼號的奧氏體等溫變態圖求得之。

5 局部 淬火

鋼件及工具中，有時需要局部的高硬度，而其他部份仍然保持其原來的柔韌性質。例如農具犁鏵，耙片以及刀刃等，都需要局部淬火。此時為提高局部的硬度進行淬火，有下列三種方法：

a) 僅在需要硬化的部份，進行加熱與淬火。

б) 將鋼件全部加熱，而僅在應當硬化的部份施行淬火。

B) 將鋼件全部加熱，而在不同溫度進行回火，以降低 需要硬化的地帶的硬度。

依實驗的結果，而知由 a) 法從淬火帶至非淬火帶之間，硬度下降太速。б) 法較為緩和。B) 法硬度下降最為勻稱。因之，對於受到極大應力及衝擊的鋼件（如汽車的分軸），應當全部淬火，而後對於需要韌性的部份，施以較高溫度的回火。

a) 法操作簡便，而且經濟，但用爐熱施行局部加熱並淬火，最難使加熱均勻，溫度恰當，不易得到滿意的結果。鉛浴加熱時，僅使需要淬火的部份浸入浴槽，較易控制。局部淬火方法，以高頻率電流感應加熱淬火最為適宜，因其加熱均勻，溫度容易控制，能得良好的成果。

б) 法全部加熱至 AC_3 以上溫度，將鋼件在強力的水流中，施行局部淬火，此稱為噴射淬火。此時採用噴水，不至在鋼件表面形成蒸汽層，能保證其透硬度比普通淬火較深。此法僅使鋼件一部受到水冷，而其他部份緩冷，在淬火末期仍然殘留熱度。為避免淬火部份的回火作用起見，當鋼件赤熱狀態轉暗之後，全體浸入水中，使其自己完成冷卻的過程。

§ 6 淬火時發生的缺陷

由於不正確的淬火結果，可能產生各種的缺陷。其最常見的缺陷，是硬度不足，軟點，脆性增高，表面氧化及脫碳，甚至變形彎曲及開裂等。此類缺陷由下列原因構成的。

1 硬 度 不 足

此由於加熱溫度不足（爐溫太低或保熱時間過短），或冷卻強度不足，而產生淬火鋼硬度不足後果。如係溫度不足，則馬登體不能具有充分的硬度，因為溫度低，或保熱時間太短，則奧氏體不能含有足量的碳或合金元素，即不能達到奧氏體均一化的程度，淬火後就不能得到充分淬硬的馬登體組織。若是亞共析鋼，加熱溫度不足，則純鐵體未曾全部溶解於奧氏體，淬火後就要得到馬登體 + 純鐵體的組織。

若係冷卻強度不足，則奧氏體不能過冷至 M_H 點，而淬火鋼的組織全部或一部，由奧氏體分解的生成物（屈氏體，梭斑體）所構成。如要避免這些缺點，應當提高爐溫，或延長保熱時間，或加強冷卻，就可消除淬火鋼硬度不足的現象。若提高淬火溫度或延長保熱時間，使奧氏體均一化，則不僅可以消除硬度不足的現象，並更有利於淬火，使其

容易獲得均一的組織。假如因為提高溫度使晶粒粗化，或加強冷却使鋼件變形，則應採用合金鋼，代替碳鋼。

2 軟 點

軟點的形成，也是由於加熱不足或冷却強度不足所致，消除方法與上述相同。有時由於原來組織不均，致令淬火後形成軟點。例如純鐵體偏析部份，加熱至淬火溫度，可能仍然保持純鐵體狀態，或得到濃度不足的奧氏體，這樣經過淬火後，就要產生軟點。此時應先用常化，預先使其組織均一化，而後進行淬火，即可消除此種軟點。此外表面脫碳的部份，也會於淬火後，形成軟點。

3 脆 性 增 高

一般由於淬火時，加熱溫度過高，致令奧氏體晶粒成長，增高鋼的脆性，此可由機械試驗或依顯微鏡檢視組織而察知之。若在回火狀態而起脆化，則由於回火操作不宜所致。假使應在150—200°低溫回火的鋼件，而在殘餘的奧氏體變態溫度範圍200—300°，施以回火，就要產生脆化。改善鋼的脆化原因，一般由於回火停留過久，或因緩冷，而生回火脆性。這種產生脆化的鋼件，應當重新淬火與回火，調整其性質。

4 表面氧化與脫碳

通常在缺乏爐氣控制的燃燒爐或電爐中，產生表面氧化與脫碳。此對於鋼件的使用方面增加困難，並需要磨光酸洗等表面處理，若能適當地控制爐氣，就可消除這種弊害。在鹽浴中加熱，得以減少氧化與脫碳，有時能完全防止脫碳，甚至稍微滲碳。如在普通鹽中（氯化物 NaCl ， KCl ， BaCl_2 或碳酸鹽 Na_2CO_3 ， BaCO_3 等），加入氰化鹽， $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ ， KCN ， NaCN 等，就可防止脫碳，並稍微滲碳。爐氣中因燃料燃燒的狀況及溫度不同，可能產生 CO_2 ， CO ， O_2 ， H_2 ， H_2O ， N ， CH_4 等氣體。就中 H_2 能脫碳， CO_2 氧化， O_2 及 H_2O 能氧化並脫碳， CO 及 CH_4 能滲碳，但分解後可能氧化與脫碳。

5 淬火變形與開裂

淬火時常發生變形或開裂等弊害，此完全由於內應力所致，其成因及其防止方法容俟後述。

§ 7 淬火變形及開裂

1 變形及彎曲

淬火之際，常發生變形或彎曲，此因熱應變及組織應變而起。前者因溫度不均，冷却速度各異，後者因組織轉變，而生內應力。熱應變及組織應變，極易發生，實難完全

消除，所以淬火時，力求減輕這些變形彎曲的現象。

通常熱應變要在熱應力達到該溫度的彈性極限以上才得發生，若高溫彈性極限甚高，則不易起熱應變。例如500°低溫淬火時，鋼的彈性極限高，不生熱應變。迨溫度上昇，則熱應力增高，而彈性極限降低，熱應變隨着增大。所以熱應變發生於彈性極限小的溫度範圍，即起於淬火最初階段。一般熱應變為熱應力及高溫彈性極限的函數，決定於淬火溫度加熱與冷卻速度，導熱性，形狀尺度及鋼質等各種因素。

鋼件受到熱應變時，有使其變為球形的傾向，鋼從高溫急冷，則外周比中心速冷而起收縮，猶如內部受壓力的容器，此時變形易成表面積最小的球形，依熱應力的變形，以圖62示之。

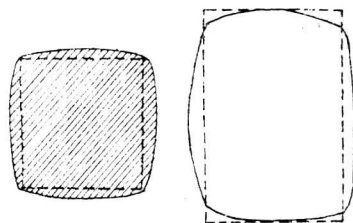


圖62 由熱應力的變形

依組織應力的變形，因馬登體變態而起。此時外周因生成馬登體，而起異常膨脹，中心部自周圍受到張應力，猶如內部成為真空的容器，故其變形與熱應變示相反的現象，以圖63示之。至於鋼的淬火應變，是上述的熱應變與組織應變的合成，普通如圖64所示的變形。

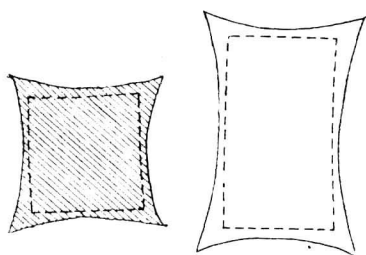


圖63 由組織應力之變形

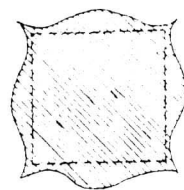


圖64 由熱應力及組織應力變形

一般淬火變形中，冷卻速度小的部份凹進，而冷卻速度大的部份凸出，彎曲時也起

同樣的現象。關於淬火變形的影響，則熱應變>組織應變，換言之，熱應力主要地與淬火變形有關，而組織應力對於開裂的影響更大。

如上所述，淬火應變因鋼的種類，淬火溫度，冷卻速度，鋼件的形狀尺度而異。若冷卻速度小，高溫彈性極限高，淬火溫度低，殘餘奧氏體量多，則淬火應變減小。下表表示三種鋼的淬火應變的比較。

第32表

各種鋼的淬火應變的比較

種 類	淬火應變的比較	淬 火 情 況
碳 鋼	1	水淬火 熱應變大 馬登體化 組織應變大
鎢 鋼	$\frac{1}{2}$	油淬火 熱應變中 殘餘奧氏體多 組織應變中 高溫彈性限高 熱應變中
高 鎢 鉻 鋼	$\frac{1}{4}$	空氣淬火 熱應變小 殘餘奧氏體多 組織應變小 高溫彈性限高 熱應變小 不溶解碳化物多 組織應變小

鋼棒鋼條水中淬火時，應垂直地放置水中，使其全面受到均一的冷卻。若水平放置，則上面與下面的冷卻速度不同易起彎曲，所以長的鋼件水中淬火，應使其垂直插入，並使水槽攪動，免致蒸汽圍繞鋼件表面，妨碍冷卻。

鋼棒具有半圓形或其他不對稱的斷面，如圖65所示者，則由於垂直插入水中時冷卻的不均，鋼棒向寬的斷面方面彎曲。即斷面寬的部份冷卻較速，收縮更大，所以向寬斷面的部份凹進。

鋼件浸入淬火液時，因其方式不同，每一部份受到的冷卻速度各異。若平直物件水平浸入水中，則將起如下的變形。首先在最初時期，急劇冷卻，使下面層收縮，而起下

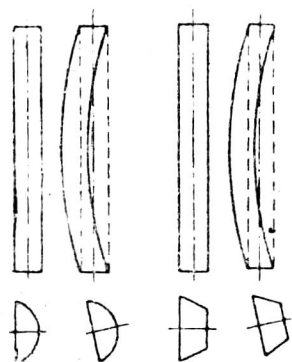


圖65 鋼棒的變形

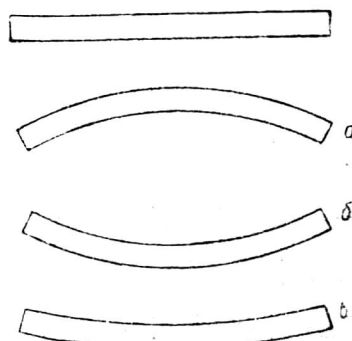


圖66 由於浸入淬火劑中的方式不同而產生的各種變形

面凹陷上面凸出的現象（圖66a）。次之，起組織變態，跟着容積膨脹的結果，而起與前反對方向的彎曲（圖66b）。最後完全浸入的鋼件上面層，也起組織轉變而膨脹，可是遇到下面硬質彈韌層的抵抗，終於稍微平直，但是仍然殘留彎曲（圖66b）。

2 淬火開裂的原因及其防止方法

如圖67所示，圓柱狀試料淬火時，因其表面層與中心部的冷却速度之不同，而生內外溫度的差異，淬火後四秒鐘，溫度差可達 300° 。此時冷却愈速，則溫度差愈大，所以急劇冷却時，淬火後即生淬裂，主要地由於內外溫度差甚大，而起熱應變所致。

當急激冷却時，除由於熱應力招致開裂外，又由於內外層組織的轉變，而起組織應變，也可促成開裂。如圖68所示，外部沿 α 線冷却，內部沿 δ 線冷却，鋼溫度降至 A_{r1} 附近時，外部的冷却極速，仍然奧氏體狀

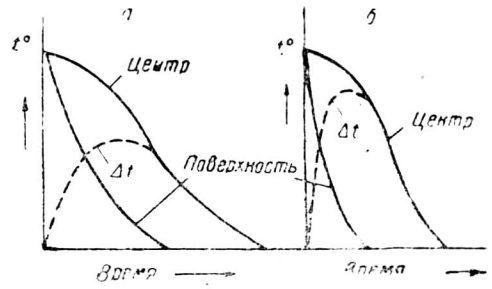


圖67 鋼件表面及中心的冷却曲線

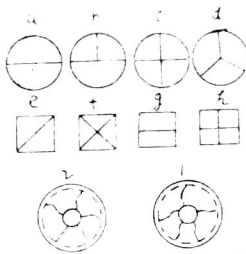
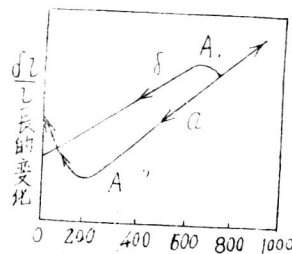


圖69 淬裂鋼之各種形狀



68 淬火鋼內外部之冷却線

態，未起變化，而內部冷却較緩，已變為珠光體而起容積膨脹。此時外部受內部的強大張應力，此力超過限度，遂起淬裂。反之，較緩和淬火時，上述張應力不大，淬火後不至即生開裂。溫度漸降，內外溫度差亦漸減，終至於零。迨溫度再降，則外部成馬登體，膨脹甚烈，其內外的膨脹度差別益增大，此時內層受着張應力，而外層受着壓應力，若其張應力超過強度極限，即起開裂。所以淬火後短時間內發生淬裂時，與初期淬裂相比較，則其應力方向恰相反，而淬裂的模樣各異。

如圖69 (a) 所示，上面出現直線裂紋，表示外部受着內部的強大張應力，而起開裂的現象。從 (b) 至 (h)，中央裂痕較廣，又如 i j，除了中央有同樣裂紋，外周

另現圓的裂紋，這些都表示內部受着外側的張應力而起開裂的現象。

如上所述，普通淬裂的現象，大都起於低溫度。如果要防止淬裂，應使 200° 附近馬登體變態的異常膨脹化為緩和，淬火後未到室溫以前，在 100 —— 200° 溫度間徐緩冷卻，即水淬火後移送油冷，或水淬火後放置於保持 100 —— 200° 的爐旁而緩冷之。

淬裂的時期，可分為三種：（1）淬火後即起開裂；（2）淬火鋼冷至 200 —— 250° 時發生開裂；（3）從淬火槽取出後才生淬裂。淬火後即生開裂者，由於外部受着張應力，而內部受着壓應力，即因熱應力而起。至於（2）（3）的開裂，都是由於外層受壓應力，而內層受張應力，即因組織應力而起。普通淬裂大半屬於後者。

今列舉淬裂的原因，約有下列各端：

（1）材質不良：過熱或燒毀組織經淬火後馬登體晶粒粗大，易起粒界開裂，磷硫含量多時，鋼質脆弱，易起淬裂。如有脫碳層的存在，則比非脫碳層冷卻速度及膨脹度較小，由於膨脹不均而起淬裂。

（2）操作不當：（a）淬火前未施充分退火，（b）加熱及冷卻方法不良，致令淬火不能均一化，（c）淬火溫度過高，（r）未行退火而重覆淬火。

（3）形狀不宜：斷面積變化多，厚薄不等，則薄的部份速冷而成馬登體，厚的部份緩冷而成屈氏體，兩者膨脹度各異，致生開裂。銳角部份淬火應力集中，而起切缺作用，形狀複雜或極細緻者，易起彎曲或開裂。

欲減輕淬火應變並防止淬火開裂應採用適當的對策如次：

（a）淬火開裂，大半由於材質不良，操作不當，形狀不宜而起。務須嚴密地檢查材質，選用不起過熱燒毀、脫碳、偏析等的健全材料，為必要條件，就是鋼件各種缺點，必須檢視調整後，才可進行淬火。

（b）淬火前必須充分退火，使鋼質均一化，並消除內應力。尤其網狀滲碳體要使其球狀化。

（c）物件各部份，務須一樣加熱，並均勻冷卻，淬火液中試樣的動態，亦須嚴密注意。形狀複雜的鋼件，對於銳角部份細薄部份，塗以粘土或蓋石棉，使厚的部份與薄的部份，受到一樣的急冷。加熱時，最好分為預熱及高熱兩階段，不可過熱至必要以上的溫度。

（r）適用中斷淬火或分段淬火，中斷淬火時，從水中取片試料的時間，可用厚度3毫米1秒鐘的比例，準確地掌握之。分段淬火對於防止淬裂，極為有效，碳工具鋼可