

蘇聯機器製造百科全書

第七卷

第十一章 金屬熱處理工藝

蘇聯機器製造百科全書編輯委員會編



機械工業出版社

蘇聯機器製造百科全書

第七卷

第十一章 金屬熱處理工藝

雷吉萊爾著



機械工業出版社

1954

出版者的話

蘇聯機器製造百科全書第七卷共分爲十三章，專述機器零件的加工工藝。內容包括機器零件機械加工的基本工藝、切削用量、標準機器零件的生產工藝、機械加工的夾具、各種金屬加工的切削工具、金屬熱處理工藝、木材的機械加工工藝以及塑料製品的生產工藝。因爲篇幅較大，暫先分章出版。

本書是第七卷的第十一章，介紹金屬熱處理的基本原理和各種零件的熱處理工藝過程。對於熱處理車間的基本和輔助設備的工藝性能也作了詳盡的說明。是一本工程技術人員很好的參考書。

本書根據蘇聯‘Машиностроение Энциклопедический Справочник’
(Машгиз 1948 年第一版)一書第七卷第十一章(З. Л. Регирер著)譯出

* * *

編者：蘇聯機器製造百科全書編輯委員會

著者：雷吉萊爾 譯者：孫一唐

1954 年 7 月第一版第一次印刷 1—6,300 冊

書號 0466 31×43 1/16 312 千字 83 印刷頁 定價 19,800 元(甲)

機械工業出版社(北京盔甲廠 17 號)出版

機械工業出版社印刷廠(北京泡子河甲 1 號)印刷

新華書店發行

目次

第十一章 金屬熱處理工藝

結構鋼零件的熱處理(雷吉萊爾[3.Л. Регирер])

Регирер])	5
熱處理的種類	5
零件熱處理的用途和選擇的方法	8
熱處理的變曲和變形	10
熱處理方法的選擇	11
零件熱處理的標準方法	18
參考文獻	18
刀具熱處理的標準工藝過程	18
參考文獻	20

熱處理中鋼的加熱、保溫和冷卻(雷吉萊爾[3.Л. Регирер]和施梅柯夫[А.А.Шмыков])

Регирер]和施梅柯夫[А.А.Шмыков])	37
溫度-時間圖	37
加熱金屬的主要參數和加熱持續時間的計算方法	40
參考文獻	43

鋼的化學熱處理(雷吉萊爾[3.Л. Регирер]和施梅柯夫[А.А.Шмыков])

梅柯夫[А.А.Шмыков])	43
鋼的化學熱處理方法的分類	43
滲碳法	45
固體滲碳法	46
液體滲碳法	47
電解滲碳法	48
氣體滲碳法	49
氮化處理	49
氣體氮化法	49
液體氮化法	51
氰化處理	51
固體氰化法(低溫)	51
液體氰化法	52
氣體氰化法	54
鋁化法	56
固體鋁化法	56
氣體鋁化法	56
在溶鋁中液體鋁化法	56
電解鋁化法(在溶鹽中)	56
鉻化法(熱擴散)	57
固體鉻化法	57
液體鉻化法	57
氣體鉻化法	58
砂化法	58
固體砂化法	58
氣體砂化法	58
硼化法	58
固體硼化法	58

在溶化的硼砂中電解硼化法

在溶化的硼砂中電解硼化法	59
鉻砂共滲法	59
鉻鋁共滲法	60
參考文獻	60

鋼的冰冷處理(零下處理)(庫涅符斯基[М.Н. Кунявский])

Кунявский])	60
基本原理	60
冰冷處理對鋼的性質的影響	62
冰冷處理的設備	65
參考文獻	65

灰口鑄鐵的熱處理(庫涅符斯基[М.Н. Кунявский])

Кунявский])	65
消除鑄件內應力的熱處理方法	65
減低硬度的熱處理方法	68
增加硬度和改善機械性質的熱處理方法(淬火和回火)	71
增加耐磨能力和抗蝕能力的化學熱處理方法	74
合金鑄鐵的熱處理方法	74
參考文獻	75

白口鑄鐵(可鍛鑄鐵)的熱處理(庫涅符斯基[М.Н. Кунявский])

Кунявский])	75
得到純鐵體可鍛鑄鐵的熱處理方法(退火)	76
得到珠光體可鍛鑄鐵的熱處理方法	82
純鐵體可鍛鑄鐵的熱處理方法	83
脫碳可鍛鑄鐵的熱處理方法(退火)	84
參考文獻	85

含鉻量高的可鍛鑄鐵的超速退火法(阿索諾夫[А.Д.Ассонов])

Ассонов])	85
-----------	----

有色金屬和合金的熱處理(魯尼夫[Ф.А. Лунив])

Лунив])	87
銅及銅合金的熱處理	87
鋁及鋁合金的熱處理	89
鎂合金的熱處理	91
有色金屬和合金的化學熱處理	91
參考文獻	91

熱處理時用的保護氣體(控制氣體)(施梅柯夫[А.А.Шмыков])

А.Шмыков])	92
加熱時鋼和氣體的相互作用	92
得到保護氣體的方法和特性	94
$H_2-H_2O-N_2$ 型氣體[5]	94
$CO-CO_2-N_2(2,4)$ 型氣體	98
$CO-CO_2-H_2-N_2(1,3)$ 型氣體	100

CO—CH ₄ —H ₂ —N ₂ (6,7)型氣體.....	104	輔助設備.....	149
CH ₄ —H ₂ —N ₂ (5)型氣體.....	106	製造固體滲碳劑的裝置.....	149
保護氣體的應用.....	106	檢查儀器〔7〕.....	150
採用保護氣體時對爐子的要求.....	106	淬火液的冷却器.....	153
參考文獻.....	107	熱能利用系統的設備.....	153
熱處理的疵病和主要的補救方法.....	107	運輸設備.....	154
參考文獻.....	112	確定熱處理結果用的儀器.....	157
熱處理車間設備(施梅柯夫[А.А.Шмыков])...112		參考文獻.....	157
設備的分類.....	112	熱處理用的材料.....	158
主要設備.....	112	鋼件淬火時預熱,加熱和回火時用的材料.....	158
爐子.....	112	液體氰化用的材料.....	159
爐子熱能的計算.....	137	滲碳用的固體滲碳劑.....	160
加熱的裝置.....	140	高速鋼刀頭銲接用的銲粉.....	161
淬火的裝置〔2,3〕.....	140	淬火劑.....	161
清潔的裝置.....	145	參考文獻.....	162
校直的設備.....	146	中俄名詞對照表.....	163

第十一章 金屬熱處理工藝

著名的蘇聯學者契爾諾夫(Д.К.Чернов)(1839~1921)創立了熱處理科學的理論基礎。

契爾諾夫在1868年確定出鋼中有臨界點(契爾諾夫點)存在,因此在加熱和冷卻時發生相的變化。第一點是相當於加熱到使鋼料呈暗櫻桃色,叫契爾諾夫 α 點;第二點是相當於加熱到鋼料呈紅色,叫 δ 點。

按照契爾諾夫的解釋, α 點的意義如下:“不管多硬的鋼,如果加熱在 α 點以下,無論冷卻得多快,也淬不硬。相反的,反而變得很軟和容易用鋸加工了”。按照契爾諾夫的解釋, δ 點的重要性在於:“只有把鋼的溫度提高到 δ 點以上,鋼料內部的組織才會很快地從顆粒(或者說是結晶)狀態轉變為無晶如蠟的狀態”。●

有了 α 點,就有可能正確地決定出淬火溫度。有了 δ 點,可以得到關於加熱時組織變化的概念,也就可能正確地決定鍛造和其他熱變形的處理方法。契爾諾夫首先肯定了正確的熱處理方法必須建立在了解這些臨界點的基礎上。

契爾諾夫創立了鋼結晶學的經典理論,和解決了一系列在金相熱處理和冶金學範圍內的其他問題。特別是在1900-X年初,他發明了直接從原礦石中得出鋼的方法。

還有大批的蘇聯學者——巴益科夫(А.А.Байков)院士(1870~1946),可爾納科夫(Н.С.Курнаков)院士(1860~1941),蓋蓋維奇(Н.А.Мягкович)教授(1883~1942),古得左夫(Н.Т.Гудцов)

院士,波刺伐爾(А.А.Бочвар)院士,希節英貝爾克(С.С.Штейнберг)教授(1872~1940),可爾賓莫夫(В.Е.Курдюмов)教授,伏洛格金(В.П.Вологдин)等,以及成千的蘇聯金相熱處理工作人員,繼續發展着契爾諾夫所建立起來的這門科學。

在斯大林五年計劃中,熱處理工作和它的科學原理更達到了偉大的成就。

我國(指蘇聯)冶金學對於合金的性質和平衡圖之間關係的問題,作了進一步的發展。蘇聯金屬學校對於現代的淬火原理,特別是奧氏體等溫轉變的過程更有了創造性的研究。由於這些工作的結果,機械製造業掌握了奧氏體轉變中的機械作用與力學。冰冷處理(零下處理)法已廣泛地被運用到祖國的熱處理工作中去。

在化學熱處理的範圍內,對於研究和運用各種氣體滲碳的方法有了鉅大的貢獻。工具鋼低溫氣體氰化法(一種提高切創刀具使用壽命非常有效的方法),是在我們工廠裏研究出來的。

在熱處理操作中,蘇聯學者還發展和運用了新的加熱方法——高頻率感應加熱,工業用頻率的電流加熱法,在電解液中加熱法——因此就很合理而又經濟地解決了現在工廠中非常複雜的問題。

對於鑄鐵熱處理的方法,也作了合理的改進(可鍛鑄鐵的超速軋化退火法,灰口鑄鐵的等溫淬火法等)。

尤其在金相學,有色金屬和合金的熱處理方面做了很多的工作。

結構鋼零件的熱處理

熱處理的種類

熱處理乃是改變金屬和合金的物理-機械性質、工藝和使用性能的特殊熱加工,熱處理過程包括三個主要步驟:加熱,保溫和冷卻。

經過熱處理以後,由於組織和相的變化改善了金屬和合金的性質,同時使內應力消除,而化學成分沒有變化。

還有一種熱處理方法是利用擴散作用,使零件

表面飽和不同的合金元素;這種用改變物品表面的化學成分以改善零件性質的熱處理方法叫做化學熱處理。

熱處理的種類可以根據鋼料達到我們所要求的品質所需要的加熱溫度和冷卻速度來區分。一般實用上,熱處理方法可以分為:①退火;②正火;③淬火和回火;④表面淬火和回火;⑤差別熱處理;⑥冰冷處理。

● 現代的術語稱為固溶體——奧氏體。

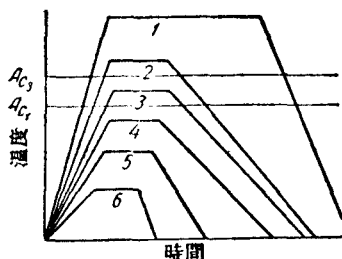


圖1 各種不同類型退火的圖解曲線：

1—均勻化(擴散退火)；2—完全退火；3—不完全退火；4—低溫退火；5—再結晶退火(再結晶)；6—回火(淬火以後)。

圖1和圖2是用圖解來表示的幾種熱處理方法。

鋼料經過熱處理以後，可以使強度($\sigma_b, \sigma_p, \sigma_s$)，可塑性和韌性(δ, ψ, α_k)、疲勞極限(σ_r, τ_r)提高，改善切削和冷變形的加工性，消除內應力和脆性，改變鋼的物理性質。

退火 把鋼料加熱到 A_{c3} 點以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，在這個溫度保溫一段時間，然後緩慢冷卻到珠光體轉變溫度以下。這種方法叫做完全退火(圖1，方法2)。用這種方法處理結果，可以使鋼料得到完全再結晶的金相組織和穩定的狀態。

完全退火的目的是降低鋼的硬度，改善切削的加工性，增加韌性，消除在以前處理過程中所產生的內應力；同時在結構組織上為以後熱處理(淬火)作好準備。

完全退火主要是用來處理鑄鋼件，鍛件和衝壓件；也用來處理滾軋鋼材。

把鋼料加熱到 A_{c1} 點以上(在 A_{c3} 以下)，在這個溫度保溫一段時間，然後緩慢冷卻到珠光體轉變溫度以下，這種方法叫做不完全退火法(圖1，方法3)。用這種方法處理結果可以得到部分再結晶的組織。

不完全退火的目的是改變珠光體的結構組織，改變鋼料的硬度和改善切削的加工性；在不完全退火後得到球狀珠光體組織的熱處理方法叫做球狀化。不完全退火用來在機械加工以前處理滾軋成型鋼的鋼坯和鍛件。

把鋼料加熱到 A_{c1} 點附近，在這個溫度保溫一段時間，然後緩慢冷卻下來，這種方法叫做低溫退火(圖1，方法4)。低溫退火結果使內應力減少，硬度降低，改善切削的加工性；這種退火方法是用於高合金鋼的鍛件(18 XHMA 和 20 X 2 H 4 A 等)的。

把鋼料加熱到 A_{c3} 以上 $180 \sim 300^\circ\text{C}$ ，在這溫度保持較長的時間，然後緩慢冷卻下來，這種方法叫均勻退火，或擴散退火(圖1，方法1)。擴散退火後，可以看到鋼料顆粒的大小有顯著的增大；所以在擴散退火後的鑄件通常還必須經過一次熱處理，目的是使粗大的顆粒變細。

擴散退火的目的是利用擴散方法消除固溶體顆粒中化學成分的不均勻性，同時改善切削的加工性；這種退火方法主要是用來處理化學成分很不均勻的大型合金鋼成型鑄件和大型鋼錠。

冷變形的鋼，加熱到再結晶溫度以上(A_{c1} 以下)保溫一段時間，然後冷卻下來，叫做再結晶退火或再結晶(圖1，方法5)。

再結晶的目的，是消除內應力，回復鋼料的可塑性和韌性，得到等軸的和不變形的顆粒，改善在以後冷變形時的加工性。

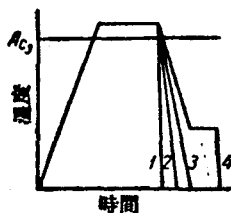


圖2 各種不同類型淬火方法圖解曲線(和正火)：

1—完全淬火；2—一次熱處理；3—正火；4—等溫淬火。

正火 把鋼料加熱到 A_{c3} 點以上，在這個溫度保溫一段時間，然後在靜止空氣中冷卻下來，叫做正火(圖2，方法3)。鋼料經過正火以後得到的硬度要比完全退火後的硬度稍高，而顆粒較細，降伏強度和比例極限都較為提高。

正火的目的是得到細顆粒組織，消除結構組織的不均勻性(鍛件，鑄件或經過滲碳後的零件)，改善切削的加工性(低碳鋼)，增加硬度和機械性質，消除切削加工後的硬化現象，以便在結構組織上為下一步熱處理(淬火)作好準備。

淬火和回火 把鋼料加熱到 A_{c3} 點以上 $30 \sim 50^\circ\text{C}$ ，透燒(保溫)一段時間，然後很快地冷卻下來(在鹽或酸溶液中，在水中，在油乳劑或油中，在空氣中)，以得到主要為馬丁體的組織，叫做淬火(圖2，方法1)。

由淬火得到次穩定(Метастабильное)組織狀態；對於一定成分的鋼料由於冷卻速度的不同，它的組織或是過冷固溶體(奧氏體)，或是過飽和固溶體(馬丁體)，或是分佈很細的純鐵體與滲碳體的混合體。

淬火後跟着回火的目的是保證製件的工作能力和持續操作時的使用壽命(得到很高的機械性質、耐

磨性和抗蝕能力)或使物理性質(電和磁)發生變化。

經過淬火的鋼料,先加熱到 A_{c1} 以下,在這個溫度停留保溫一段時間,然後緩冷或急冷下來,叫做回火(圖1,方法6)。根據回火溫度的高低,鋼料在回火後或多或少地接近穩定的組織狀態。在回火時,發生的變化如下:a)在 $80\sim 170^{\circ}\text{C}$ 溫度範圍——四角形馬丁體(淬火馬丁體)轉變為立方系馬丁體(回火馬丁體)。b)在 $200\sim 270^{\circ}\text{C}$ 範圍剩餘奧氏體轉變為回火馬丁體。c)在 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 範圍,形成托氏體、和r)從 400°C 到 A_{c1} 範圍內,滲碳體團聚而形成托氏體、蘇班體或珠光體組織。

在 $150\sim 240^{\circ}\text{C}$ 回火叫做低溫回火,在 400°C 到 A_{c1} 範圍內回火叫做高溫回火。經過淬火的製件,因提高回火溫度,而 H_a , σ_b , σ_p , σ_s , σ_r 降低, δ , b , a_k 則增加。

鋼的二重熱處理,包括在淬火後,再經過高溫回火(在 $500\sim 670^{\circ}\text{C}$)的熱處理方法叫做調質處理。

調質的目的是使鋼的結構組織變細,為下一步熱處理作好準備,並且增加韌性。

調質主要是用來處理合金鋼製件,作為預先和最後一道的熱處理。

把鋼料加熱到 A_{c3} 以上在這個溫度透燒(保溫)一段時間,然後以較慢的速度冷卻下來(在溶化金屬中,溶鹽中,蒸氣和空氣混合氣中,或空氣中冷卻)叫做一次熱處理(одно́рный) (圖2,方法2)。鋼料經過一次熱處理後可以得到托氏體、托氏體和蘇班體或蘇班體的組織。得到蘇班體組織(如輪圈、軌頂)的熱處理方法也可以叫做蘇班化。當以低於臨界冷卻速度的速度冷卻時,這種熱處理方法和不完全淬火相類似。

一次熱處理的目的是得到變形最小的製件,避免碎裂的危險,增加製件的硬度和耐磨性。

鋼絲在抽拉過程中間,需要經過一次熱處理,目的是回復鋼絲的可塑性。這種一次熱處理又叫做鉛浴淬火。處理方法是在若干次拉延工序之間把鋼絲加熱到 $850\sim 900^{\circ}\text{C}$,然後淬入 $450\sim 500^{\circ}\text{C}$ 的鉛浴中冷卻。這樣可以得到蘇班體的組織。

把鋼料加熱到 A_{c3} 點以上(和普通淬火的溫度相同),在這個溫度透燒(保溫)一段時間,然後投入 $180\sim 350^{\circ}\text{C}$ 的冷卻劑中,在這個溫度保持一段為奧氏體完成等溫轉變所必需的時間。這種熱處理方法叫等溫淬火(圖2,方法4)。

等溫淬火時用的冷卻劑可以參看158~162頁。

在冷卻劑中等溫轉變結束後,製件可以用任何速度冷卻下來。

等溫淬火的目的是得到內應力最小,變形最小而韌性高的製件。

表面硬化和回火 有許多機器和機構上的零件,在工作時受到摩擦作用,需要用各種方法來進行表面硬化。表面硬化可以減少合金鋼的採用,在許多情形下用來代替費工的化學熱處理操作(滲碳、氮化),而且大大地提高在反覆負荷下(除了摩擦作用外)工作的零件表面層的強度。

採用表面硬化處理最廣的為碳鋼零件,像40、45、50號以及低合金錳或鉻的中碳鋼。

最完善的表面硬化法是用高頻率電流來加熱,使零件表面的溫度升高到 A_{c3} 以上,之後用噴水器噴水冷卻(參看卷十四第四章56頁)。加熱時間(3~6秒)決定於硬化面尺寸的大小、需要的硬化層的深度和電流的頻率及設備的功率。在很多情況下,應在零件達到完全冷卻以前,就停止供給冷卻水。這樣可以達到自回火而省掉專門的回火處理了。

負荷重的零件,除了要求表面有很高的硬度外,還要求心部有很好的機械性質,在高頻率表面硬化之前,先要經過淬火和回火或正火和回火處理。

用高頻率表面硬化的零件種類很多,(曲軸軸頸,桃子軸凸輪,內燃機氣缸襯套,多種多齒輪的牙齒,軸,拖拉機履帶片銷子,主軸和各種機床的導板,以及其他許多零件等)[1]。

經過淬火後表面硬化層的深度可以達到5公厘,表面硬度在 $H_{Rc}=62\sim 64$ (淬火後)。

利用特殊帶有電流的電極滾輪來加熱表面層,滾輪是和工作物表面相接觸,當加熱到淬火溫度後,急速用水(或空氣)冷卻,這種方法叫做表面接觸硬化法。這個方法是蓋凡林格(Н.В.Гевелинг)教授研究出來的。結構形狀簡單的零件可以採用這種表面硬化法(旋轉物體——機床主軸的軸頸,軸;平的表面——機床導板,軌道鋼軌頂)。硬化深度3~6公厘,表面硬度 $H_{Rc}=60$ 。

在表面硬化時,也利用氧氣氣體火焰來加熱(乙炔氣或照明氣),隨即用噴水器噴水冷卻。這個方法成功地被用來處理一系列重要的零件(拖拉機和坦克發動機的曲軸軸頸,各種齒輪的牙齒,軸承圈,裝甲零件,蒸汽機車的導桿等)(參看卷十四,第四章87頁)。

在大量生產中40、45、50號鋼製的圓柱形零件

可以用下面方法來進行表面硬化處理：把零件全部透燒到 A_{c3} 以上，隨即投入急速冷卻的淬火劑中保持片刻（如汽車發動機的曲軸和桃子軸，後半軸，汽車的中間軸和萬向軸）^⑤。硬化層深度 3~5 公厘（在 30~50°C 的 10% 氫氧化鈉 NaOH 水溶液中保持 10~40 秒），表面硬度 $HRC = 48 \sim 50$ 。淬火以後，應立即進行回火，以避免發生裂紋。

齒輪表面硬化，可以採用表面淬火的方法，把需要深度的硬化表面層加熱到 A_{c3} 以上。

含碳在 0.75~0.85% 的鉻和鎳合金鋼，用這種方法處理，其過程如下：零件先放在鹽槽中全部加熱到 A_{c3} 溫度以下，之後把零件從鹽槽中取出移到溫度高過 A_{c3} 的鉛槽中加熱到淬火溫度後，立即投入淬火劑中冷卻。硬化層深度可達 0.5~1.0 公厘。

差別熱處理法 為了使零件在一定長度或圓周面上達到所要求的硬度，可以採用以下方法中的一個，這些方法都稱為差別熱處理法。

1) 把零件完全加熱和淬火；在不需要硬化的地方預先用專門筒夾夾好，防止受冷，或用噴射淬火（油，水或 NaOH 溶液）把冷卻劑直接噴射到需要硬化的地方。淬火以後，把零件全部回火。

40 或 45 號鋼製的曲軸，用這個方法淬火（在不需要硬化的地方用筒夾夾好後浸入 10% NaOH 溶液中冷卻）。所得的結果是：靠邊的突緣部分，硬度是 $H_B = 228$ ；在中心處 $H_B = 402$ 。曲軸銷（裝小齒輪部分） $H_B = 302 \sim 364$ ，軸頸和軸頰（即曲柄臂）的硬度 $H_B = 402 \sim 444$ （回火後）。

2) 通工業頻率的電流把零件局部加熱到 A_{c3} 點以上（電阻法），或者在鉛槽或鹽槽中局部加熱，之後把加熱部分冷卻。

3) 零件按平常方法全部淬硬後，放在鉛槽、鹽槽或專門爐子中，或用工業頻率的電流進行局部回火。

冰冷處理 鋼件冷卻（在淬火或淬火和回火後）到 0°C 以下（冷卻到負 60~80°C），在這個溫度保持到零件截面各部分的溫度都降低到這個溫度，然後從冷卻器中取出，在空氣中使其回復到室溫，這種熱處理方法叫冰冷處理法。在冷卻過程中淬硬鋼重新發生馬丁體轉變^[2]。

冰冷處理的目的是減少剩餘奧氏體的數量。

冰冷處理的目的是減少剩餘奧氏體，增加面層硬度和耐磨性，高合金滲碳鋼製件經過滲碳、淬火和低溫回火後表面層保留有頗大數量的剩餘奧氏體。^⑥ 零件經冰冷處理後（例如 18XHMA, 20X2H4A

和 12X2H4A 鋼製零件），必需加熱到 170~200°C 進行低溫回火，以消除零件的內應力。

零件熱處理的用途和選擇的方法

機器和機構的零件是用不同的鋼料製造的（碳鋼，低合金鋼，或高合金鋼）。在選擇鋼料的時候是根據工作條件，和對它們的要求而決定的。按照這樣的條件和要求，決定各種熱處理的方法。

1) 在工作時負荷較輕的碳鋼零件（20, 25, 30, 35, 40, 45 和 50 號鋼），熱處理的方法最簡單，就是正火或退火（50, 60 號鋼）。

表 1 是正火後碳鋼（鍛件）的機械性質。

表 1 碳鋼鍛件（截面在 100 公厘以下）經過正火在空氣中冷卻後的機械性質

（根據 1942 年“重型機器工業部鋼料標號”的資料）

鋼號	正火溫度 (°C)	σ_b 公斤/公厘 ²	σ_s 公斤/公厘 ²	δ_5 (%)	ψ (%)	硬度 H_B , 不超過
		不 低 於				
20	880~900	40	22	24	53	156
25	870~890	43	24	22	50	170
30	860~880	48	25	19	48	179
35	850~870	52	27	18	43	187
40	840~860	56	28	17	40	207
45	830~850	60	30	15	38	217
50	820~840	62	32	13	35	229

2) 在工作時，中等負荷的中碳鋼（35, 40, 45 號），和合金鋼（35Г2, 45Г2, 50Г, 50Г2, 30X, 35X, 40X, 45X, 25CГ, 35CГ, 33XC, 38XC, 35XГ2, 35XГC 等）零件（以鍛件佔多）要經過調質處理（淬火和高溫回火）。

表 2 是幾種鋼經過調質處理後的機械性質。

3) 在工作時，負荷大的高合金鋼零件（在複合應力、衝擊負荷下工作）要經過比較複雜的熱處理，包括一系列的操作步驟。

① 正火，高溫回火（鍛件），淬火，回火——用來處理合金中碳鋼。

② 正火，高溫回火（鍛件），滲碳，低溫退火，淬火，回火——用來處理合金滲碳鋼。

③ 正火，高溫回火（鍛件），滲碳後降溫淬火和直

● 在淬火機中冷卻時，零件本身以 250~350 轉/分速度轉動，可以加速冷卻的作用。

⊕ 從滲碳爐（氣體滲碳）中取出直接淬火的零件，面層含剩餘奧氏體的數量特別多，雖然在淬火前已經把溫度降低（降溫淬火）。

表2 碳鋼和合金鋼鍛件(截面在100公厘以下)經過調質處理後的機械性質

(根據工廠和1942年“重工業部鋼料標號”的資料)

鋼 號	淬 火		回 火		機 械 性 質					硬 度 H_B
	溫度(°C)	冷卻劑	溫度(°C)	冷卻劑	σ_b	σ_s	δ_5	ψ	a_k	
					公斤/公厘 ²	公斤/公厘 ²	(%)	(%)	公斤公尺/公分 ²	
					不 低 於					
40	830~850	水	580~630	空氣	60	32	18	40	5	192~228
45	820~850	水	580~640	空氣	65	35	17	38	4.5	192~235
35Г2	800~820	水	610~640	水	80①	65	16	50	6	255~302
45Г2	830~850	油	560~600	水	85①	70	13	45	4.5	269~321
50Г	820~840	油	550~600	空氣	80①	55	8	40	3.5	241~285
30X	850~870	水	550~570	水	72	50	14	45	5	212
35X	840~860	油	610~630	水	65	45	14	45	5	187
40X	830~850	油	540~570	水	78	55	12	40	4	288
45X	820~840	油	600~650	水	85	65	10	45	5	241
35ГГ	890~910	水	580~620	水	85①	65	15	40	6	262
33XC	920~940	水	620~640	水	95①	75	15	45	6	286
30XH3	820~840	油	520~550	水	90①	70	8	45	6	255
37XH3	810~830	油	550~580	油	115①	100	10	50	6	351~418
40XH	820~840	油	550~600	水	85	60	10	40	6	255
35XMA	850~870	水或油	600~640	水	70	50	15	40	6	217
35XГ2	810~830	油	620~660	水	85①	70	12	45	8	235~269
30XГC	860~880	油	640~660	水	75	55	12	45	6	241
35XГC	860~880	油	500	水	100①	75	7	45	6	285
33XCM	880~890	水	580~650	空氣	90①	75	10	45	6	255
35XHM	860~880	油	620~650	空氣	70②	50	15	40	6	217
40XΦ	870~890	油	630~660	水	90①	75	10	50	9	269
45XHMΦ	860~880	油	550~600	空氣	105	90	9	40	5	321~363
38XMIOA	930~950	油或水	600~670	水	100①	85	15	50	9	286

① 截面在60公厘以下的鍛件用。

② 截面在100~300公厘的鍛件用。

接淬火,回火,冰冷處理,回火——用來處理高合金
滲碳鋼;滲碳在連續式氣體滲碳爐中進行(圖3)。

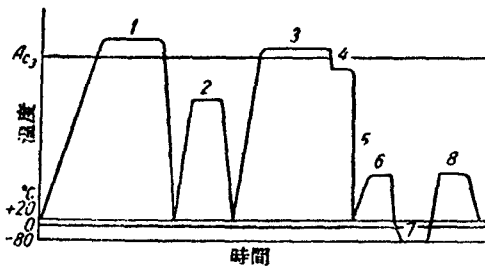


圖3 高合金鋼18 XHM和16 X2 H4)齒輪熱處理方法圖解曲線:

1—正火;2—高溫回火;3—滲碳;4—在滲碳中
降溫處理;5—淬火;6—回火;7—冰冷處理;8—回
火。

④均勻化,高溫回火(鑄件),淬火,回火——用
來處理重要的大型合金鋼鑄件。

⑤淬火和回火(毛坯或鍛件),穩定回火,(機械
加工後),氮化——用來處理特殊鋼。

負荷大的零件例舉如下:a)在扭力作用下工作,
零件受反覆彎曲和衝擊負荷,其支承表面還受滑動
摩擦的作用(柴油機的曲軸);6)在拉力和壓力反覆
作用下工作,零件受衝擊負荷(柴油機的連桿);B)在
反覆彎曲應力作用下工作,零件受衝擊負荷,其工作
面還受滑動摩擦和滾動摩擦作用(變速箱齒輪,減速
箱齒輪,側面傳動器的齒輪,重型拖拉機,載重汽車
和坦克的差速齒輪);r)在反覆扭力作用下工作,零
件受衝擊負荷(汽車和坦克的傳動軸)。

表3是幾種合金滲碳鋼經過淬火和回火後的機
械性質(心部)。

表 3 合金滲碳鋼(心部)經過淬火和回火後的機械性質

(根據工廠資料)

鋼 號	滲碳熱處理		機械性質 (不低於)					
	淬火①溫度 (°C)	回火溫度 (°C)	σ_b (公斤/公厘 ²)	σ_s (公斤/公厘 ²)	δ_5 (%)	ψ (%)	a_k (公斤公尺/公分 ²)	硬 度 H_B
15X	780~800	180~200	62	38	15	45	6	179
20X	780~800	180~200	65	40	13	40	5	187
12XH3	780~800	180~200	85	70	10	50	8	241
12X2H4	760~780	160~180	100	80	10	55	9	293~387
20X3	860~870	190~210	110	90	7	50	9	285~415
15XΦ	780~800	190~210	80	60	9	50	7	241~255
15HM	780~800	190~210	85	75	10	50	9	241~255
18XΓM	820~830	190~210	110	90	7	50	9	285~388
18XHMA	860~870	160~180	115	85	11	50	12	331~388
13H2A	860~870	160~180	60	40	15	50	11	180~302

① 15X 和 20X 鋼的淬火劑是水,其餘的鋼是用油。

熱處理的翹曲和變形

斷面厚度不同的鋼件,由於加熱和冷卻不均勻的結果而產生翹曲現象,或由於在高溫時,零件本身重量的作用,而形成撓度。

要消除構造特別複雜或斷面形狀變化很大的零件的翹曲現象,在淬火時必須要緩慢加熱,把斷面薄的和斷面厚度變化大的部分用石棉繩或火泥絕緣起來,淬火時必須緩和冷卻的急劇性(用溫水,或者油來代替水淬或降溫後再投入冷卻液中),在淬火夾具、壓床和淬火機中冷卻,而回火時,把零件放在夾具和壓床上進行回火。

影響零件淬火時發生變形現象(改變尺寸)的因素有:淬火溫度,淬火時的冷卻速度,硬化深度,鋼料的原來組織(淬火以前),和回火溫度。淬火溫度愈高,冷卻速度愈快,發生變形的可能性也就愈大。

冷卻速度(淬火劑)對變形的影響,可以舉下面

表 4 40X 鋼齒輪油淬溫度對於其節圓直徑變化的影響[6]

淬火時的加熱溫度(°C)	節圓的直徑 (公厘)	節圓直徑增加 的數量(公厘)
淬火以前	90.246	0.000
760	90.302	0.056
800	90.310	0.064
815	90.325	0.079
830	90.340	0.094
845	90.348	0.102

幾個例子來說明:40 號鋼製齒輪的孔徑,在淬火以前,孔徑是 54.64~54.68 公厘,加熱到 820°C 水淬後,孔徑尺寸增加到 54.81~55.06 公厘(增加了 0.17~0.38 公厘);油淬後,孔徑的尺寸增加到 54.69~54.73 公厘(增加了 0.05 公厘)[6]。

表 4 是淬火溫度對於 40X 鋼齒輪變形結果的影響。

鋼的原始顯微組織對於淬火時產生變形的影響,可以用下面的例子來說明:20XH 鋼製齒輪(含碳 0.16%),淬火以前的原始組織是蘇斑體。滲碳和淬火後,孔徑縮小了 0.25~0.38 公厘,如果淬火前是珠光體組織,滲碳和淬火後孔徑反而增加 0.06 公厘。

消除零件在熱處理後變形和翹曲現象的方法之一,就是根據熱處理後零件變形和翹曲的程度和趨向,先行改變零件的尺寸和形狀。至於尺寸改變的大小和形狀的必要改變,需要經過試驗方法才能決定。

【例一】汽油發動機的桃子軸(用 45 號鋼製,軸頸的直徑是 20 公厘,長 560 公厘)用淬火機(桃子軸放在淬火機的滾輪中間轉動,冷卻液是用 NaOH 溶液)淬火後,伸長(“展延”)0.5~0.6 公厘,結果改變了凸輪之間長度的尺寸,以致成為不可補救的廢品。以後在淬火以前,把桃子軸各凸輪之間的長度先縮短 0.5 公厘,淬火後可以得到 100% 的合格品。

【例二】高合金鎳鉻鋼製的重型齒輪,在滲碳以前,用節距規去量節距是 175.24~175.34

公厘，滲碳以後縮小到 175.08~175.24 公厘，而允許尺寸的變化範圍在 175.14~175.44 公厘之間。最後的尺寸必須在 175.09~175.48 公厘範圍。後來考慮到滲碳以後的尺寸當在 175.15~175.50 公厘之間，就把尺寸預先改變為 175.34~175.44 公厘（滲碳以前）。從此消除了齒輪廢品的產生。

【例三】螺旋齒傘齒輪（合金滲碳鋼製），在淬火後齒部產生變形和翹曲；在根據齒面工作部分的接觸選擇每對齒輪的時候（驅動齒輪和隨動齒輪）就感到很困難，最後以致報廢。測定出變形和翹曲的規律後（一定牌號，一定硬化性的鋼，用完全相同的熱處理操作方法），在機床上加工時，預先把齒部的形狀改變；這樣經過滲碳、淬火和回火後，就得到合乎我們要求的齒形了。

【例四】40號鋼厚壁環在淬火以後內徑會漲大，而回火以後又會縮小；在熱處理和磨光後內徑需要達到 65.0~65.1 公厘，所以在熱處理之前，先把環的內徑製造成 64.64~64.68 公厘，這樣淬火後漲大到 64.8~65.05 公厘，而回火後又縮回到 64.7~64.97 公厘，最後經過磨光後，可以完全達到規定的尺寸（65.0~65.1 公厘）。

熱處理方法的選擇

藍圖是用來決定熱處理方法的原始資料。在藍圖上，除了有零件的尺寸和結構形狀外，還應當註明製造零件所用的鋼號，滲碳深度，氰化深度，氮化深度，表面硬化的深度，不需要熱處理的部位，以及要求的硬度。對於特別重要的零件，在藍圖上通常還註明對它某些部分機械性質的特殊要求（ $\sigma_b, \sigma_s, \delta, \psi, \alpha_k$ ）。根據這些資料，可以參看表 5 來選擇一種最合適的熱處理方法。

零件在熱處理車間的路線，是根據其熱處理操作的順序而定；鑄件先在成型鑄鋼車間經過一道預先熱處理，接着如果需要的話，在機械加工後再送到第二熱處理車間進行最後一步熱處理。鍛件先在鍛工車間經過一道預先熱處理，接着如果需要的話，（例如表 5 中的第三組和第四組）在機械加工後再送到第二熱處理車間或高頻率表面硬化工段進行最後一步熱處理。

根據零件的鋼號，可以決定出退火、正火和淬火的

溫度（按照鋼的 A_{c3} 臨界點），淬火時採用那一種冷卻劑，退火和回火後的冷卻速度（有回火脆性的

表 5 結構鋼零件熱處理的標準方法

組別	熱處理方法	用途
第一組	1. 退火（完全退火，不完全退火） 2. 正火（在靜止空氣中冷卻或在吹風中冷卻）	含碳 0.15~0.45% 的低碳或中碳鋼的製件
第二組	1. 淬火—高溫回火 2. 正火—高溫回火	含碳 0.38~0.50% 的中碳合金鋼和中碳鋼
第三組	1. 退火或正火—淬火—低溫回火 2. 正火—高溫回火—淬火—低溫回火	含碳 0.38~0.50% 的中碳合金鋼和中碳鋼
第四組	1. 正火—滲碳—淬火—低溫回火 2. 正火—高溫回火—滲碳—高溫回火—淬火—低溫回火 3. 氮化—淬火—低溫回火 4. 正火（或調質）—氮化 5. 正火（或調質）—表面淬火—低溫回火	低碳和中碳鋼製的零件，進行化學熱處理或表面淬火

表 6 回火溫度對於鋼的硬度的影響

（根據工廠資料）

鋼號	淬火溫度 (°C)	淬火劑	回火溫度 (°C)	硬度 H_B
40	830~850	水	300~400	444~364
			400~450	415~321
			510~550	286~241
			540~580	269~229
			580~640	229~192
45	810~830	水	510~560	286~241
			550~580	269~229
			580~640	235~192
40CX	900~920	油	240~260	555~388
			450~500	415~341
			560~610	321~269
			600~650	302~255
			630~680	285~241
45 XHMΦA	860~880	油	390~420	477~415
			460~530	444~363
			550~600	363~321
			600~650	321~260
60Γ	800~820	油	480~530	321~269
			650~680	229~179

鋼，在回火後，要水冷或油冷），根據零件的尺寸（最大斷面的尺寸）和形狀，決定在熱處理過程中的加熱速度和透燒（保溫）的持續時間。根據要求的硬度（和機械性質），決定回火的溫度（可以參看表 6 和圖 4 的例子）。

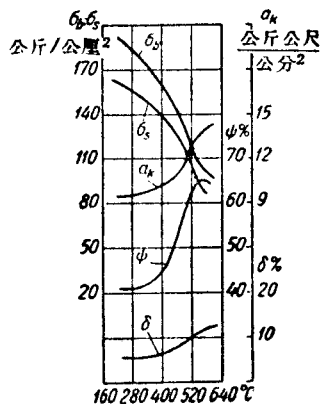


圖 4 40XΓ 鋼回火溫度對於機械性質的影響
(在 870°C 油淬)。

在選擇熱處理的類型和決定零件熱處理順序的時候，不但要考慮到對於零件操作性能的要求，而且還需要考慮到零件製造時的簡易性（切削時和冷變形時的加工性，最後一道熱處理前，半成品的顯微組織）。要滿足上面這些條件，有時候也可以用其他的鋼來代替預先決定的鋼號。

下面的例子說明：改正製造柴油發動機曲軸用的鋼料牌號和熱處理方法的選擇可以保證達到要求的技術條件（例一）；兩種零件熱處理的規範、操作程序和選擇的方法（例二和例三）；改正製造拖拉機齒輪的鋼料牌號並採用最新的熱處理方法（例四）。

【例一】六缸固定柴油發動機曲軸，長 3600 公厘，軸頸的直徑是 200 公厘，材料是 35 號鋼，要求的機械性質是： $\sigma_b \geq 50$ 公斤/公厘²； $\sigma_k \geq 6$ 公斤公厘/公分²； $H_B \geq 140$ 。根據曲軸的尺寸和形狀，不能進行調質處理（淬火和高溫回火），因為，淬火時曲軸的曲柄發生翹曲（沿曲柄臂）超出了允許的尺寸變化範圍，所以只能改用正火處理。斷面是 200 公厘的 35 號碳鋼經過正火（850~870°C）後， $\sigma_b \geq 50$ 公斤/公厘²，但是衝擊強度不能保證達到要求的標準，只能達到 $\sigma_k \geq 4$ 公斤公厘/公分²。如果改用 30H 低合金鋼（含鎳 0.9~1.2%）來製造，正火後（850~870°C），就可保證得到所要求的性質了（ $\sigma_b \geq 50$ 公斤/公厘²； $\sigma_k \geq 6$ 公斤公厘/公分² 和 $H_B \geq 149$ ）。所以，原定

的 35 號鋼，必須用 30H 鋼來代替。

【例二】差速驅動傘齒輪（汽車上）（圖 5），是用 15HM 鋼製，鍛料的硬度是 $H_B = 163 \sim 170$ ，成品滲碳深度是 0.9~1.2 公厘，滲碳面層的硬度（齒部和軸承頸部）是 $H_{R_c} = 58 \sim 64$ ，尾部（175 公厘長度）是 $H_{R_c} = 33 \sim 43$ ，採用的熱處理方法規定如下。

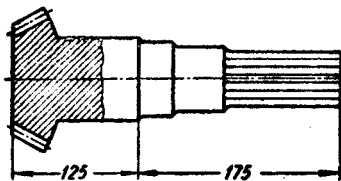


圖 5 錐形驅動齒輪。

把鍛料加熱到 930~950°C，進行正火處理，保證了鋼料的結構組織，為下一步熱處理工作做好準備，改善鍛料在切削時的加工性和齒部在加工後得到光滑的表面（控制硬度在 $H_B = 163 \sim 170$ ）。經過機械加工後齒輪需要在 900~920°C 滲碳，滲碳深度在 1.0~1.3 公厘（考慮到最後要磨去一層）。滲碳以後，加熱到 800~810°C，油淬；之後在 180~200°C 回火 1.5 小時，以消除內應力（控制硬度在 $H_{R_c} 56 \sim 64$ ）。齒輪 175 公厘長的尾部，在淬火以後，還要加工（銑鍵槽和花鍵），所以這部分需要經過局部回火，在鉛槽中加熱到 590~600°C 取出，淬入水中。正火和局部回火可以改善工藝性能，而滲碳、淬火和回火可以提高使用性能（耐磨性，疲勞強度，衝擊強度，扭轉和彎曲時的降伏強度）。

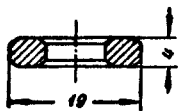


圖 6 螺母

【例三】12 號易切削鋼製的螺帽（圖 6），用銼刀試其表面硬度是 $H_{R_c} \geq 60$ ；硬化層的深度是 0.1~0.

15 公厘。高硬度和要求的硬化層深度採用表面氧化處理可以保證得到。氧化溫度，應在 840~850°C，在氧化槽中保持 35~40 分鐘，然後淬入水中冷卻。淬火後為了消除

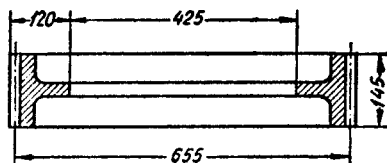


圖 7 重型拖拉機齒輪圈（齒輪冠）。

表 7 內燃機曲軸熱處理的標準方法

鋼 號	初 次 熱 處 理 (假 件)										最 後 熱 處 理					
	退 火 (°C)	正 火 (°C)	回 火 (°C)	淬 火		同 火 溫 度 (°C)	硬 度 H_B	火 淬		冷 却 劑	溫 度 (°C)	回 火		硬 度		
				溫 度 (°C)	冷 却 劑			溫 度 (°C)	冷 却 劑			溫 度 (°C)	冷 却 劑	軸 頸 H_{RC}	心 部 H_B	
45	—	—	—	820~840	水	500~600	空氣	255~285	軸頸用高頻率感應加熱 (860~880)	水	170~190	空氣	55~60	255~285		
Cr-Mo-Cu-Ni ^①	—	1060	—	—	—	—	—	—	870	空氣	620	空氣	—	302~341		
18XMA	—	940~960	640~660	—	—	—	—	197~269	870~900	空氣或油	180~220	空氣	—	311~375		
Cr-Mo ^②	720~750	—	—	—	—	—	—	—	860~880	油	640~690	空氣	—	260~310		
Cr-Mo ^③	—	—	—	820~850	油	570~650	空氣	250~280	軸頸用氣體氧氣火焰加熱	水	自 回 火	—	52~54	250~280		
50	—	—	—	800~820	水	550~630	空氣	320~350	軸頸用高頻率感應加熱	水	180~190	空氣	50~58	320~350		
Cr-Ni ^④	—	—	—	810~830	油	480~530	空氣	220~240	軸頸經過氮化處理 (0.2~0.3 公厘深)	—	—	—	520~590 H_B	220~240		
Cr-Ni-Mo ^⑤	—	920~940	—	—	—	—	—	—	淬硬後深度達 2.5~3.5 公厘 (820~870)	油	190~210	空氣	59~62	—		
40	—	840~860	—	—	—	—	—	149~197	軸頸在淬火機上淬火 (810~820)	苛性蘇打溶液	450~470	空氣	402~444 H_B	250~280		

- ① 鑄鋼軸, 成分: (0.55~0.60%)C, (0.60~0.80%)Mn, (0.3~0.4%)Si, (1.0~1.25%)Cr, (0.9~1.1%)Mo, (0.7~1.0%)Cu, (0.55~0.65%)Ni.
- ② 曲軸, 鋼料的成分: (0.38~0.45%)C, (1.6~1.9%)Cr, (0.3~0.4%)Mo.
- ③ 曲軸, 鋼料的成分: (0.38~0.45%)C, (0.9~1.2%)Cr, (0.15~0.25%)Mo.
- ④ 曲軸, 鋼料的成分: (0.40~0.45%)C, (1.2~1.5%)Cr, (1.0~1.3%)Ni.
- ⑤ 曲軸, 鋼料的成分: (0.18~0.22%)C, (1.7~2.1%)Cr, (1.8~2.1%)Ni, (0.20~0.35%)Mo.

表8 變速箱齒輪,減速箱齒輪,差速齒輪,和電動機齒輪(汽車,拖拉機,坦克,柴油發動機等)熱處理的標準方法

鋼 號	初次熱處理(鍛件)				最 後 熱 處 理							硬 度 HR_c	
	退 火 ($^{\circ}C$)	正 火 ($^{\circ}C$)	回 火 ($^{\circ}C$)	H_B 不超 過	滲 碳 ($^{\circ}C$)	低溫退回 ($^{\circ}C$)	淬 火		回火($^{\circ}C$)	冰冷 處理	回火 溫度 ($^{\circ}C$)	面 層	心 部
							溫 度 ($^{\circ}C$)	冷 却 劑					
40XC	—	—	—	—	—	—	880~900	油	580~620	—	—	33~37	—
40CX	—	—	—	—	—	—	900~920	油	560~610	—	—	30~35	—
50XH	—	—	—	—	—	—	830	油	250	—	—	50~55	—
20X3	—	920~950	640~660	—	氣體滲碳 910~930	—	820~830	油	180~200	—	—	56~62	30~45
							從滲碳溫 度降低到 這個溫度 淬火						
12XH3A	—	880~900	—	255	900~920	—	760~800	油	150~180	—	—	58	26~40
12X2H4A	—	920~950	640~660	269	900~920	—	790~810	油	170~190	—	—	60	35~45
18XHMA	—	935~960	640~660	269	900~920	640~660	840~860	油	180~200	—	—	54	35~47
12X2H4A	—	920~940	630~650	269	氣體滲碳 910~930	—	800~880	油	190~210	(70~ 80)	190~ 210	56~62	—
							從滲碳溫 度降低到 這個溫度 淬火						
Cr-Mn- Mo①	680~700	—	—	—	860~880	630~650	850~870	油	160	—	—	60	30~35
Cr-Mn- Mo②	680~700	—	—	—	860~880	630~650	800~820	油	160	—	—	60	37~40
45	—	—	—	—	—	—	820~840	水	570~640	—	—	192~240 H_B	—
12XH2A	—	890~910	—	—	900~920	—	770~810	油	180~200	—	—	56	217 H_B

① (0.13~0.17%)C, (0.8~1.2%)Cr, (0.7~1.0%)Mn, (0.2~0.3%)Mo。

② (0.17~0.22%)C, (1.0~1.3%)Cr, (0.8~1.1%)Mn, (0.2~0.3%)Mo。

表9 緊固零件熱處理的標準方法

零 件 名 稱	鋼 號	熱 處 理 方 法								
		低溫退火 (°C)	氮 化		淬 火		回 火		硬 度	
			溫 度 (°C)	冷 却 劑	溫 度 (°C)	冷 却 劑	溫 度 (°C)	冷 却 劑	H _B	HRC
螺 栓	40X	—	—	—	840~860	油	590~630	水	241~285	—
	40XH	—	—	—	800~820	油	410~430	水	—	33~38
	40CH	—	—	—	900~920	油	560~600	水	269~321	—
	45	—	—	—	810~830	水	540~570	空氣	241~285	—
	18XHMA	640~660	—	—	860~890	油	170~200	空氣	320~444	—
	Cr-Mo①	680~700	—	—	830~860	油	630~680	空氣	187~217	—
	Ni-Mo②	—	—	—	800~820	油	550~600	水	240~285	—
	20XΓC	—	—	—	880~890	油	500~520	水	230~269	—
螺 母	45	—	—	—	810~830	水	530~570	空氣	—	24~30
	35	—	—	—	840~850	水	540~560	水	—	24~30
	A _{BT} .12	—	840~860	水	—	—	150~180	—	銼刀試驗	
	40XH	—	—	—	790~810	油	540~560	—	—	25~30
	40XC	—	—	—	880~900	油	650~690	水	255~285	26~30
螺 釘	10	—	840~860	水	—	—	150~180	—	銼刀試驗	
	40CX	—	—	—	900~920	油	560~610	水	269~321	—

① (0.22~0.29%)C, (0.9~1.2%)Cr, (0.15~0.25%)Mo。

② (0.43~0.48%)C, (1.65~2.0%)Ni, (0.2~0.3%)Mo。

表10 內燃機凸輪軸熱處理的標準方法

鋼 號	滲碳溫度 (°C)	淬 火		回火溫度 (°C)	硬 度		
		溫度(°C)	冷 却 劑		面 層		心 部
					HRC	HRC	
20	900~980	760~780	苛性蘇打溶液	200~220	—	75~90	—
易切削鋼①	900~920	770~790	水	170~190	60~65	—	28~34
13H2A	900~920	760~800	油	160~180	58	—	12~30

① (0.17~0.23%)C, (1.35~1.69%)Mn, (0.08~0.13%)S。

表11 內燃機連桿熱處理的標準方法

鋼 號	初次熱處理(鍛件)				最後熱處理				
	正 火		低溫退火		淬 火		回 火		硬 度
	溫 度 (°C)	冷卻劑	溫 度 (°C)	冷卻劑	溫 度 (°C)	冷 却 劑	溫 度 (°C)	冷卻劑	
40	—	—	—	—	820~840	5%NaCl溶液	500~520	空氣	255~286
Cr-Mo①	—	—	700~720	—	820~850	油	570~650	空氣	230~300
18XHMA	940~960	空氣	640~660	空氣	870~900	空氣或油	180~220	空氣	320~400
35Γ2	—	—	—	—	800~820	水	610~650	水	250~300
40XHM	—	—	—	—	820~840	油	560~620	空氣	250~300
Si-Mn②	—	—	—	—	830~850	油	560~640	空氣	200~280

① (0.38~0.49%)C, (0.9~1.2%)Cr, (0.15~0.25%)Mo。

② (0.33~0.40%)C, (1.1~1.4%)Si, (1.1~1.4%)Mn。

表12 內燃機氣門熱處理的標準方法

鋼 號	各種氣門的熱處理方法						氣門座的熱處理方法				氣門的特性
	退火溫度 (°C)	淬 火		回 火		硬 度 H_B	淬 火		回 火 (°C)	硬 度 HRC	
		溫 度 (°C)	冷 却 劑	溫 度 (°C)	冷 却 劑		溫 度 (°C)	冷 却 劑			
ЭИ-107	—	1040~1080	空 氣	760~800	水	255~302	—	—	—	—	出氣門
矽 鉻 合 金 (Silchrome)①	750~880	1030~1070	油或空氣	800~840	—	202~293	—	—	—	—	出氣門
20ХНФА	—	840~860	油	620~660	水	255~302	—	—	—	—	進氣門
40X	—	850~860	油	600~620	水	288 最小	850	油	—	45~50	進氣門
CX8	810~830	—	—	—	—	255~302	1050~1700	油	550	40~45	出氣門
矽 鉻 合 金 (Silchrome)②	780~800	930~950	油	780~800	空氣	248~293	930~950	油或空氣	—	—	進氣門

① 鋼的成分: (0.4~0.5%)C, 10%Cr, (2.5~3.0%)Si。

② 鋼的成分: 0.4%C, 2.2%Cr, 4.0%Si。

表13 內燃機活塞銷熱處理的標準方法

鋼 號	溫 度 (°C)			硬 度 HRC	
	滲 碳	淬 火	回 火	面 層	心 部
15XΦ	900~930	860~870	200~220	56~62	—
20X	900~920	790~810	180~200	56~62	—
Cr①	890~910	800~820	180~200	58~63	24~36

① (0.13~0.18%)C, (0.8~1.1%)Cr.

表14 螺旋彈簧熱處理的標準方法

鋼 號	淬 火		回 火		硬 度	
	溫度(°C)	冷卻劑	溫度(°C)	冷卻劑	HRC	H_B
50XΦA	840~860	油	430~450	水	40~47	—
60C2	850~870	水或油	470~490	空氣	—	388~477
V7A	810~830	油	380~420	空氣	40~46	—
55C	830~850	油或水	420~450	空氣	—	364~450

表15 履帶節熱處理的標準方法

鋼 號 和 成 分	正 火		淬 火		回 火		硬 度 H_B	履帶節 的類型
	溫度(°C)	冷卻劑	溫度(°C)	冷卻劑	溫度(°C)	冷卻劑		
Г13			1050~1080	水	—	—	156~207	鑄 的
35XГ2	860~880	空 氣	830~850	油	620~650	水	235~269	模壓的
0.25~0.30%C, 1.2~1.5%Mn, 0.1%V	920~940	空 氣	870~880	水	550~600	—	200~260	鑄 的
0.25~0.30%C, 0.7~0.9%Mn, 0.8~1.0%Si	960~980		880~890 (從正火溫度 降低到這個溫 度淬火)	水	600~650	—	235~275	鑄 的

表16 鋼板彈簧熱處理的標準方法

鋼 號	淬 火		回 火 (°C)	硬 度 H_B
	溫 度 (°C)	冷卻劑		
60C2	830~850	油	400~450	387~418
50XΦ	860~880	油	350~400	387~418
50XГ	840~860	油	450~480	387~418
55	780~820	水 (30~40°C)	430~450	320~400
55C2	840~860	油	480~500	364~418
	840~860	油	500~560	331~388
	780~820	水 (30~40°C)	400~510	320~400

表17 渦輪機葉片熱處理的標準方法

葉片的 名 稱	鋼 號	淬 火		回 火		硬 度 H_B
		溫 度 (°C)	冷卻劑	溫 度 (°C)	冷卻劑	
蒸 氣 渦 輪機葉片	12X14A	1050~1060	油或 空氣	680~720	空氣	167~193
	18X14A	980~1000	油或 油或 空氣	680~750	空氣	197~255
燃 氣 渦 輪機葉片	Cr-Ni- Mo-Cu- Ti①	1050	空氣	800, 之後 600	空氣	—
	Si-Cr- Ni-Ti②	1050	水	500~600	空氣	220~241

① 鋼的成分: 0.08%C, 18.0%Ni; 14.0%Cr, 4.0%Mo, 4.0%Cu, 0.6%Ti.

② 鋼的成分: 0.15%C, (0.4~0.9%)Mn, (0.40~1.5%)Si, (14.0~16.0%)Cr, (28.0~32.0%)Ni, (1.5~2.0%)Ti.