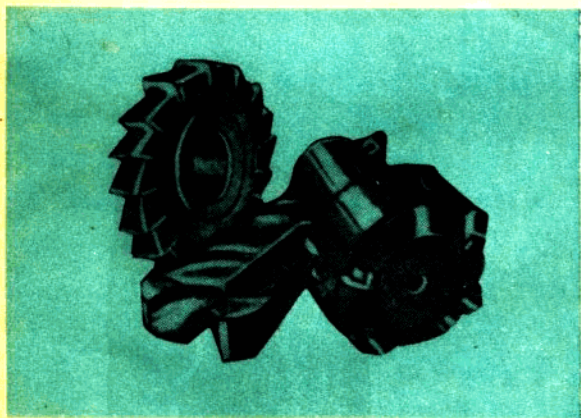


克里莫夫 著

切削刀具的材料



機械工業出版社

蘇聯 В. И. климов 著 'Материалы режущих инструментов'
(Машигиз 1951 年第一版)

* * *

著者：克里莫夫 譯者：蔡明忠、羅卓雲 書號 0699 (工業技術)

1954 年 12 月第一版 1954 年 12 月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 20 千字 1⁵/₁₆ 印張 0,001—8,500 冊

機械工業出版社(北京亞甲廠 17 號)出版

東亞印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可證出字第 008 號

定價 1,400 元

出版者的話

蘇聯國立機器製造書籍出版社出版“機床工人科學普及叢書”的目的是爲了幫助機床工人提高他們的理論知識和實際知識。這套叢書系統地講解了金屬切削加工的基本原理。每一小冊深入淺出地敘述一個問題，文字通俗易懂，插圖多用立體圖，很適合工人閱讀。我們認爲這套叢書對我國機床工人系統地提高理論水平有很大幫助，所以決定把它陸續翻譯出版。

這套叢書分成三組共26輯。第一組敘述有關金屬切削的一般問題，共10輯(1~10)；第二組說明金屬加工的各種方法，共10輯(11~20)；最後一組介紹各種金屬切削機床，共6輯(21~26)。

本書譯自第一組第5輯，書中簡要地報道現代機器製造業中廣泛採用的各種刀具材料，主要敘述關於製造刀具切削部分的金屬性質和關於金屬切削刀具的熱處理。

本書可供四、五級以上各工種機械工人作學習材料。

目 次

一	前言	3
二	對刀具材料要求些什麼	5
三	工具鋼	7
四	刀具的熱處理	8
五	熱處理時鋼的組織的變化	11
六	碳工具鋼	16
七	合金工具鋼	17
八	高速鋼	19
九	低合金高速鋼	22
十	鋼的冰冷處理	23
十一	硬質合金	25
十二	結語	30

一 前言

在近代機器製造業中採用了大量的各式各樣的金屬切削刀具（圖1）：車軸和鏜孔用的車刀、加工複雜外形的樣板刀、鉋刀、插刀、尺寸比普通縫衣針還要細兩倍的非常小的鑽頭、絲錐和板牙、板牙壳、鉸刀、沉孔鑽、拉刀及鏜孔刀片。銑刀的種類更多，它們中間有切削手錶齒輪的滾刀，加工重型掘土機上用的十公尺以上的齒輪的滾刀等等。刀具是多得數不盡的。各種類型和尺寸的切削刀具的數量更可以千萬計，新式刀具的發明供應了工業發展的需要。例如，六十年前發明的滾刀，供應了工業上需用齒輪數量的顯著增加。假如用舊的加工方法，想要迅速和準確地製造這些齒輪是不可能的。滾刀的發明，使創造了完善的新型機床，顯著地提高了切齒生產率和齒輪的準確度。

切削刀具的結構和材料對勞動生產率有最大的影響。工作時

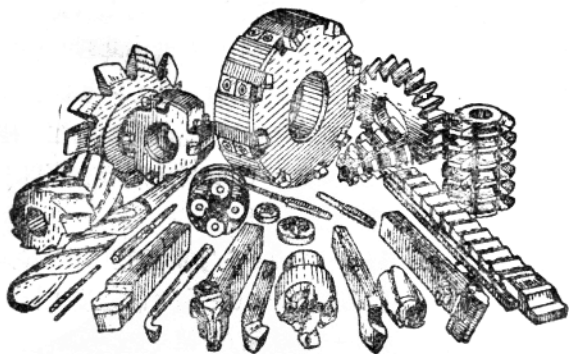


圖1 金屬切削刀具。

4

的切削速度首先決定於刀具切削部分的材料。例如，用高速鋼車刀加工要比用碳工具鋼車刀加工的生產率高 3~4 倍。用硬質合金鑲製的車刀，可以有更高的生產率，比用碳工具鋼車刀高 10 倍。由於發明了可以承受高速切削的新工具的鋼材料，所以近代機器製造業有了今天的高度成就。

現在的金屬切削刀具用哪些材料製造呢？

讓我們到工具庫去一下，那裏在格子上放着一排排的車刀。我們拿起其中之一，在刀桿上有着 PΦ1 的印號，而在鄰近的格子上放着印有 T15K6 的同樣的車刀。

這標誌着什麼呢？

這是車刀切削部分材料的牌號。我們看一下螺絲攻：有些有 9XC 的牌號，而其它有 Y12A 的牌號。在拉刀上標誌着 9XBГ 和 PΦ1，在大多數銑刀上是 ЭИ262。看看其他刀具，我們可遇到新的標誌：BK8、XГ、X、T5K10、X12M 等等。

為什麼要有這樣各種的材料呢？把一切刀具由一種材料製成豈不更好嗎？可是，事實上却不是這樣。

各種不同的刀具，工作於不同的條件下。其中某些是對製品進行初加工，切去大量體積的金屬，其切屑寬度達 10~15 公厘，有時甚至達 50 公厘。然後再用其他刀具進行製品的最後加工，使製品做到需要的形狀和尺寸。在這種情形下，切屑的厚度有時以十分之幾甚至百分之幾公厘來計算的。

有些刀具（如車刀）以 500~800 公尺/分的速度工作，其他的工具（如手用鉸刀，螺絲攻，拉刀）以 5~10 公尺/分的速度工作。

有些刀具加工軟性材料—青銅、黃銅、鋁合金和鎂合金，另外的一加工硬鋼和脆性的鑄鐵。

刀具的工作條件是不同的，因此製造金屬切削刀具的材料也

是多種的。

二 對刀具材料要求些什麼

從這套叢書的第一本小冊子上，我們已經知道強度是任何金屬最重要的特性。

它對於製造刀具的材料是否正確呢？

無疑地是對的。在工作的時候刀具受到巨大的力量，而它的材料應該有足够的強度以承受這些力量的。

然而刀具材料單單就強度來說是不够的。它還應該具有高度的切削性能。

爲了去除切屑，刀具應切入加工的零件中去（圖2）。只有在刀具的硬度相當地高於加工件的硬度的情況下，刀具才有可能切入。否則將無從切削，而使刀具和加工件相互壓壞。

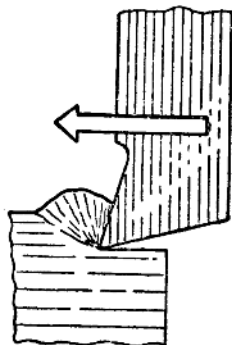


圖2 刀具切入毛坯中。

這樣，對於刀具材料提出的第一個要求就是高度的硬度。由工具鋼製成的金屬切削刀具的硬度等於洛氏 62~65，而加工件的硬度爲 15~20。關於怎樣確定硬度已在這叢書第一冊「機械製造用的金屬」中說明。

對於刀具材料所提出的第二個要求是高度的耐磨性。

在切削過程中，在刀具的前面和後面發生摩擦。切削表面磨損後面，而切屑磨損前面。刀具的壽命決定於磨損的速度，也就是決定於刀具前面和後面的磨損程度。刀具材料對磨損的抵抗越大，它的壽命越長。不同的材料對磨損的抵抗也不同。

但是高度的硬度和耐磨性對刀具的生產工作還是不夠的。高

碳鋼經淬火後具有高度的硬度，它並不低於高速鋼的硬度。含大量碳的經正確熱處理的碳工具鋼它的耐磨性同樣是相當地高的，然而，照它的切削性能來說，碳鋼遠遠不及高速鋼。問題在於：在金屬切削過程中產生出大量的熱。刀具的切削部分大大地受熱。由於這大量的熱集中在刀具的很薄的刃口上，使刃口加熱到很高的溫度，高達 $600\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。

在高溫度的時候，刀具的硬度降低了，而它的切削性能也同時降低了。硬度的降低發生於某一定的溫度，它對各種金屬是不同的。開始降低硬度的溫度愈高，則材料的耐熱度愈高，它的切削性能也愈好。

這樣對刀具材料所提出的第三個要求就是高度的耐熱度。

各種不同的材料具有不同的耐熱度。如碳工具鋼在溫度超過 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 時，就急劇地降低它的硬度。高速鋼能保持高度的硬度直到紅熱，即到 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，因此又叫它是紅硬鋼。硬質合金有更高的耐熱度一直到 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 。

耐熱度是材料切削性能的基本指標。也就是說，耐熱度決定刀具的生產率。切削速度愈高，被加工材料愈硬，則在切削過程中發生的熱量就愈多，刀具切削部分材料的耐熱度就要求更高。用較小切削速度工作的手工具不必要高度的耐熱度。

除了上述性能以外，刀具材料應有良好的導熱性，以便使熱量很快地從切削刃導出，散失於空氣中；應有良好的磨礪性，淬火時無顯著的變形和韌性等。以後我們將再來詳細談它們。

工具鋼以及硬質合金能適合這三個基本要求。關於硬質合金將在這本小冊子的最後面討論。現在讓我們更詳細地研究一下工具鋼。

三 工 具 鋼

我們從第一本小冊子中已知道碳鋼是鐵和碳的合金，而合金鋼是鐵和碳以及一種或數種合金元素如鉻、鎢、鈳、鉬等的合金。

任何鋼的性質，無論是碳鋼或合金鋼，首先決定於碳的含量。碳是任何鋼的最重要的元素。鋼的很多性質如強度、彈性、塑性、韌性、可鍛性、可銲性和磁性等決定於鋼的含碳量。鋼的碳分愈多，則它的硬度愈高。這鋼的硬度依賴於含碳量，一直到淬火後仍保持着。如果我們把含碳量不同的幾種鋼加以淬火，並測量它們淬火後的硬度，就可見到，含碳量最多的那種鋼在淬火狀態中也有最高的硬度。這相互的關係可以很好地用圖表來表明。圖3為淬火後鋼硬度的變化對含碳量關係的圖表。

從圖中可知，鋼裏面碳分愈多，它在淬火後所得的硬度愈高。在含碳量少於0.4%的時候，淬火

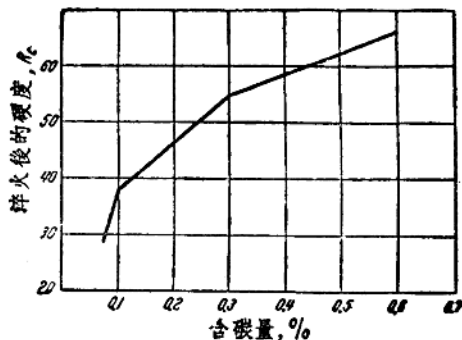


圖3 淬火鋼硬度的變化和它含碳量的關係圖表。

鋼的硬度小於洛氏60。因此，這種鋼不適於製造切削刀具。工具鋼的特徵是高度的含碳量，一般從0.7到1.4%。

碳量的增加將減小鋼的塑性，結果降低了它的可鍛性。這就限制了鋼裏面含碳量的最高極限。一般來說，提高鋼的硬度也就增加它的耐磨性。因此，含碳量高的鋼具有最大的耐磨性。在鋼裏面加入合金元素，如鉻、鎢、鈳、鉬等，將更提高刀具的耐磨性。

由上面可以知道鋼的高度硬度和高度耐磨性祇有在淬火後才能得到。我們將說明於後，工具鋼的第三種基本性質—耐熱度，也同樣只在工具鋼淬火後才能得到。

未經淬火的或者說原來狀態的鋼完全沒有切削性能。送入工具車間裏用以製造刀具的工具鋼毛坯，有着不高的硬度、相當的韌性，而其本身可被一切金屬切削刀具很好地加工，和其它非工具鋼一樣。

在工具製造過程中，工具鋼毛坯在不同機床上加工。它經過鑽削、車削、銑削。從一個操作到另一個操作改變着毛坯的形狀和尺寸，但鋼的性質卻沒有改變。最後，機械加工完畢。工具被送往熱處理部門。在那裏使鋼的性質發生劇烈的變化，而使鋼得到了切削性能。

四 刀具的熱處理

讓我們到工具車間的熱處理部門去看看，刀具的熱處理是怎樣進行的。

走進熱處理部門，首先就可以看到很多加熱爐。加熱爐具有各種不同的大小和形狀（長方形的，圓形的）。熱處理工作者將向我們說明：在第一種爐中溫度是不高的（ $150\sim 200^{\circ}\text{C}$ ），在第二種爐中溫度略高（ $500\sim 600^{\circ}\text{C}$ ），在第三種爐中溫度更高（ $750\sim 800^{\circ}\text{C}$ ），在第四種爐中溫度達 $900\sim 950^{\circ}\text{C}$ ，而第五種是所有應用於鋼的熱處理中最高的一種— 1300°C 。

當然，爐的用途不一。在有些爐中是為淬火加熱用，在另一些爐中用於鋼的退火，第三種用於滲碳，而在第四種具有最低的溫度用以進行淬火刀具的回火。

假定，當我們在熱處理部門的時候，熱處理工作者收到某種刀

具，例如銑刀，需要熱處理。他拿了這些銑刀，把它們每把捆上鐵絲，並放入箱式電爐中作初步預熱（圖4）。當我們打開爐蓋，向爐內看的時候，可以見到它的裝置。裏面的爐壁是由耐火磚砌成的。爐壁內部架着鎳鉻絲，電流從這裏通過。在電流通過時放出熱量，爐子便熱起來。

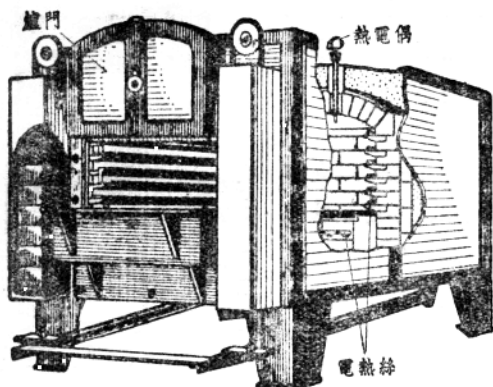


圖4 熱處理電爐：用於刀具的退火、滲碳、初步預熱、淬火等等。

在這爐中碳素鋼刀具加熱至 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ ，然後放入鹽浴爐進行最後加熱至淬火溫度 $760\sim 800^{\circ}\text{C}$ （溫度決定於鋼的牌號）。

鹽浴爐（圖5）是由耐火磚砌成的。爐內裝入由耐熱鋼所製的坩堝。在坩堝和鹽浴爐磚壁的空間安置加熱的鎳鉻絲，坩堝中放着食鹽和蘇打或食鹽和氯化鋇（ BaCl_2 ）的混合物。淬火刀具放入此熔融並加熱至需要溫度的蘇打混合液內。總共加熱數分鐘後，紅熱的刀具從鹽浴中取出並淬入水或油中。

除了上述鹽浴爐的結構外，尚有所謂電極鹽浴爐（Электродная соляная ванна）。在電極鹽浴爐中沒有坩堝和電熱絲，而加熱是靠直接浸入鹽液中的三個大的鐵電極來進行的，而鹽液是放在

本身鹽液槽中。電流從電源經過變壓器，由一個電極通過溶液到另一個電極。由於溶鹽善於導電，因此發熱。

在鹽浴中加熱比在有空氣的爐中加熱好，首先，因為加熱快得多，其次，刀具在鹽浴中加熱得較均勻，第三，在鹽浴中加熱時刀具表面不發生氧化作用。

要淬火的刀具雖可以立即在鹽浴爐中加熱，不用在其他爐中作初步預熱，但總不應這樣做，因為在鹽浴爐中迅速加熱時在刀具中會產生很大的內部應力，當刀具還未淬火時就可能裂開，尤其對於具有複雜

形狀的刀具。掛在鐵絲上的刀具在鹽浴中加熱到淬火溫度，然後很快地移往盛有冷却液的淬火箱中。這時就進行了鋼的淬火。

碳鋼淬火時要求急劇的冷却，因此碳鋼刀具係浸入水中冷却。但在水中冷却並不進行到室內溫度，而祇是到刀具發黑時為止，然後刀具很快地被放入油箱中，在那裏進行最後的冷却。

淬火後爲了消除脆性並去除大量因淬火所產生的內部應力而進行回火。回火應在淬火後立即進行，否則就可能產生裂痕。

碳鋼刀具的回火是當溫度 $160\sim 190^{\circ}\text{C}$ 時在油浴爐（裝滿熱的礦物油的爐子）中完成的。對於中等體積的刀具在回火溫度的延續時間爲兩小時，然後刀具便放在空氣中冷却。回火後應檢驗刀具

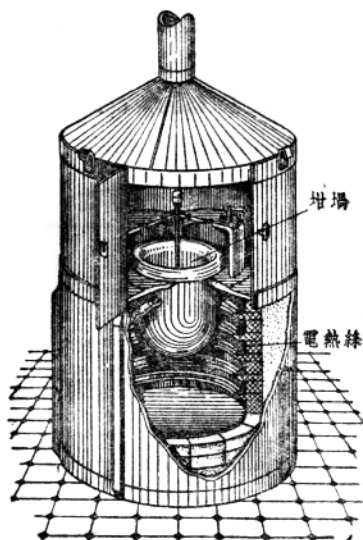


圖 5 最後加熱淬火的鹽浴爐。

的硬度和結構，然後送回到工具車間去作最後加工—磨削和磨刀。

從熱處理部分送來製就的經過淬火和回火的刀具，比那些剛送入熱處理部分的刀具具有完全不同的性能，假如你偶然把淬過火的刀具落在石頭或金屬地面上，則切削刃就被打碎，而未淬火的刀具只會有凹痕。刀具淬火後遠比它淬火前要脆得多。淬火後的刀具除了砂輪外再不能用任何其他刀具來加工。這是由於它已有高度的硬度以及切削其他金屬的能力。這也是熱處理給予刀具的切削性能。然而，製成那刀具的鋼料的化學成分並沒有變化。鋼裏面的碳量和其他元素仍舊跟熱處理前一樣。

在熱處理時刀具發生了些什麼呢？

為什麼這樣急劇地變化了它的性能，而同時製成它的鋼料的化學成分仍舊不變呢？

原來，在熱處理時變化着鋼的內部構造—它的組織。

五 熱處理時鋼的組織的變化

金屬是結晶體。如果觀察一下鋼製品的新的斷面，那就可看到，斷面的表面有大量的顆粒。在某些情形下顆粒很小。只有在放大鏡下才能加以辨別；在其他情形下顆粒相當大，用肉眼就可以辨別；每一顆粒本身是由許多看不見的微粒—原子組成的，它們嚴格地排成一定的排列，形成所謂結晶格子（圖6）。金屬的性能決定於結晶格子原子的排列。

某些物質具有不只一種，而是幾種結晶格子。例如：碳元素具有煤、石墨和金剛石三種形態。煤是多孔和軟的，石墨較緊密和較硬（石墨可製成鉛筆心），金剛石在所有已知的物質中具有最高的硬度。這種在煤、石墨和金剛石的性能上的區別是用這三種物質中碳原子的不同排列來解釋。

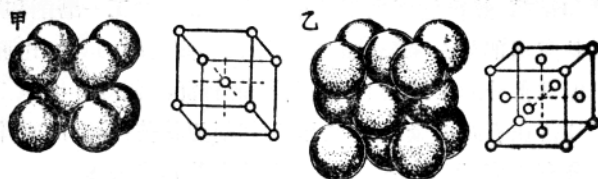


圖 6 鐵的結晶格子：

甲— α 鐵；乙— γ 鐵。

晶格中原子間的距離很小。原子間的實際距離比圖中小千萬倍。

由於加熱溫度的不同，鐵可以有兩種結晶格子，分別為 α 鐵（阿爾發鐵）和 γ 鐵（加瑪鐵）。 α 鐵存在於溫度低於 910°C 時。加熱到 910°C 以上時鐵的原子相互地移動， α 鐵便轉變為 γ 鐵形成新的結晶格子。

對於鋼來說， α 鐵變為 γ 鐵的轉變溫度比純鐵為低，它在 723°C 時開始。

α 鐵和 γ 鐵結晶構造的不同引起它們性能的不同。在 α 鐵中碳的溶解度比 γ 鐵小得多。在 α 鐵中可溶解小於 0.04% 的碳，而在 γ 鐵中可溶解達 1.7% 的碳。

α 鐵的密度小於 γ 鐵的密度。因此，即使在加熱，當 α 鐵變為 γ 鐵的瞬間，金屬的體積減小，製品稍許縮小。而相反地當 γ 鐵變為 α 鐵的時候，雖然在冷卻，體積仍增加。鋼的熱處理就是基於 α 鐵和 γ 鐵的轉化和其中碳的不同溶解度。

在熱處理的時候，鋼的組織發生變化。而鋼的機械性能則依靠組織特點。

第一個確定金屬的機械性能變化時同時變化它的金屬結構的是傑出的俄國冶金工程師巴威爾·彼得羅維奇·阿諾索夫（Павел Петрович Аносов）（1797～1851年）。他工作於茲拉托烏斯托夫斯克工廠的時候，在獲得品質優良的大馬士革鋼的過程中，得出這樣的

結論：鋼的內部組織，顆粒的形態和大小決定金屬的機械性能：硬度、韌性、彈性等。阿諾索夫的這個結論成為後來新科學的基本原理之一——從事研究金屬內部構造和性能的金相學。

在任何經過退火的鋼裏面，在一般（室內）溫度的時候，鐵是處於 α 鐵的形態，叫做純鐵體。純鐵體很韌，而硬度較低（布氏硬度 $H_B = 60 \sim 80$ ）。

但需要知道鋼是鐵和碳的合金。鋼內的碳在哪裏呢？它是不可能溶解於鐵中的，因為 α 鐵（純鐵體）總共只能溶解不到0.04%的碳，而在碳工具鋼中碳的含量大得多，從0.7%到1.4%。是否可能在鋼的結構中有游離碳，猶如在鑄鐵中的石墨？可是在顯微鏡下研究鋼的組織，碳鋼中並沒有發現游離狀態的碳。

在鋼的組織中，碳是和鐵相化合的。這種鐵跟碳的化合物——鐵的碳化物——叫做碳化鐵。碳化鐵是很脆和很硬的物質。它的硬度超過洛氏65，相當於布氏硬度700~750。

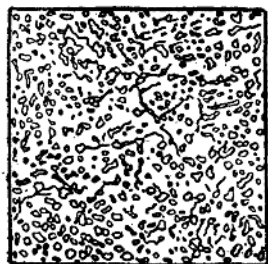


圖7 在退火鋼組織中的粒狀珠光體（放大500倍）。

這樣，任何退火的碳工具鋼的組織是由純鐵體和碳化鐵組成的。圖7表示經過退火的碳工具鋼，在顯微鏡下放大至很大的倍數（500倍）時看到的組織。從圖中可知，退火的工具鋼的組織是由純鐵體組成，其中均勻地分佈着極細小的碳化鐵的細粒。這種由純鐵體和碳化鐵細粒所組成的組織叫做珠光體。

所有牌號的正確退火的碳工具鋼都具有珠光體的組織。工具鋼中含碳愈高，在珠光體組織中粒狀碳化鐵愈多。由極軟的純鐵體和極硬的碳化鐵所組成的珠光體有着中等的硬度。珠光體的硬度

爲布氏硬度 $H_B = 160 \sim 180$ 。

淬火鋼的組織主要是由馬丁體組成。馬丁體具有很高的硬度 ($H_B = 650 \sim 700$) 以及很高的脆性。馬丁體的高硬度和高強度可由它的內部結構來說明。在顯微鏡下(放得很大時)、馬丁體具有針狀結構。我們知道,一般說來,在正常條件下,在 α 鐵中能溶解少於 0.04% 的碳。而在馬丁體中有着極多的被迫溶解的碳—到 1%。

怎樣才能強迫這樣大量的碳素溶解於 α 鐵中並得到馬丁體組織呢?

這是用熱處理—淬火來得到的。

鋼加熱超過 723°C 時 α 鐵(純鐵體)轉變爲 γ 鐵, 碳在 γ 鐵中的溶解度是顯著地大於 α 鐵。因此在珠光體組織中的碳化鐵的細粒, 開始大量地溶解於 γ 鐵中。

在高溫時原子的活動性 是很大的, 因而碳就均勻地分佈於 γ 鐵的全部體積中。所得到的碳在 γ 鐵中的固溶體叫做奧氏體(圖 8)。

在碳鋼中奧氏體只在高溫時才是穩定的。加熱到高溫的鋼, 如果慢慢地冷却, 那末轉變就相反: 在 723°C 時 γ 鐵變爲 α 鐵, 同時析出碳化鐵細粒。結果重新獲得粒狀珠光體組織。這樣進行鋼的退火。要達到緩慢的冷却, 可在停止加熱後讓鋼隨爐子一起冷却。

換句話說, 在迅速冷却時—淬火過程便進行着。如果在很緩慢的冷却時奧氏體變爲珠光體發生於 723°C , 那末在迅速冷却的時候(例如, 在水中冷却)奧氏體在碳工具鋼中過冷到 $240 \sim 200^\circ\text{C}$ 而奧氏體的轉變則只能在低溫度下發生。但這時奧氏體的轉變將不

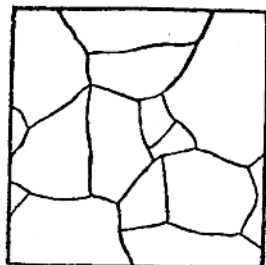


圖 8 加熱超過 723°C 時鋼組織中的奧氏體 (放大 500 倍)。

能得到珠光體。爲什麼呢？因爲在低溫的時候原子的活動性是不大的，因而碳原子已不能從 α 鐵的晶格中析出而形成碳化鐵。碳原子

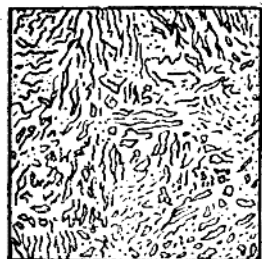


圖9 淬火鋼組織中的馬丁體
(放大600倍)。

仍被迫溶解於 α 鐵的晶格中。淬火鋼的這種組織叫做馬丁體(圖9)。

強迫存在於 α 鐵結晶格子中的逾量的碳，在格子中造成了很大的畸變。這些 α 鐵結晶格子的畸變，引起了鋼的結晶構造的變化使鋼具有新的性能：高硬度和高脆性。

爲了減少鋼的脆性並去除內應力，在淬火後採用回火。回火是把淬火後的鋼再度加熱到不很高的溫度，把它保持在這溫度下一段時間，然後再冷卻。它跟淬火的不是：回火時的基本要點不是冷卻速度，而是加熱溫度和溫度的保持時間。碳鋼工具回火時一般採用 $160\sim 190^{\circ}\text{C}$ 。回火時馬丁體的性能發生某些變化：硬度約減少兩個單位，但同時却提高了韌性和去除內應力。

當回火溫度升高到 230°C 並增加保持的時間，碳開始從馬丁體中析出，形成碳化鐵細粒。開始的時候很少，而在回火溫度提高時就變成很多。這時馬丁體大大地減少，它的硬度也降低（見圖3）。如果淬火鋼在 $650\sim 700^{\circ}\text{C}$ 時回火，那末這一過程將形成珠光體組織，同時急劇降低了鋼的硬度。

上述加熱時淬火鋼組織的變化過程會在工具工作時間自發地發生，如果所規定的切削用量使切削刃劇烈地加熱的話。在這種情況下工具將失去它的硬度而「燒毀」了。