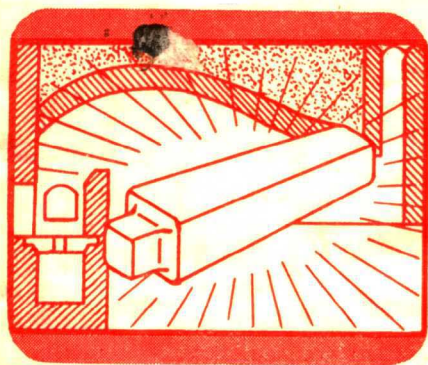


楊啓賢編著

鍛件加熱



機械工業出版社

工 業 技 術

*

編著者：楊啓賢 文字編輯：黃鴻年 責任校對：周任南

1953年8月發排 1953年11月初版 00,001—12,000 冊
書號 0359-8-93 31×43¹/₃₂ 14千字 10印刷頁 定價1,000元(丙)

機械工業出版社(北京亞甲廠17號)出版

機械工業出版社印刷廠(北京泡子河甲1號)印刷

中國圖書發行公司發行

出版者的話

祖國正在進行着大規模的經濟建設，大量的新工人將要不斷地參加到工業建設中來，同時現有的技術工人，由於在舊社會沒有學習的機會，經驗雖豐富，但理論水平較低。爲了使新工人能够很快地掌握技術的基本知識，並使現有工人也能把實際經驗提高到理論上來，因此，我們出版了[機械工人活葉學習材料]。

這套活葉學習材料是機器工廠裏的鑄、鍛、車、鉗、銑、鉋、熱處理、鉗、鉚等工種的工人爲對象的。每一小冊只講一個具體的題目，根據八級工資制各工種各級工人所應知應會的技術知識範圍，分成程度不同的[活葉]出版。

在鍛工作業中，鍛工不僅僅是要把鍛件鍛出一定的形狀，更重要的是通過加熱過程，把鋼料原有的材料性質、機械強度等加以改善，來保證鍛件的質量。本書作者能根據材料學上的理論來談鍛件加熱問題是比較好的。書內所講解的材料，可供給八級工資制四級到五級鍛工學習和參考。

目 次

一	熱鍛對鋼鐵性質的改變.....	2
	1 碳的變化——2 組織的變化	
二	鍛造和加熱溫度的關係.....	5
	1 鍛造溫度——2 透燒——3 加熱不均對鍛件的損害——	
	4 怎樣減少銹皮	
三	鋼的正確加熱法.....	10
	1 碳鋼——2 合金鋼	
四	有關鍛造溫度的其他問題.....	14
	1 加熱爐的加熱效率——2 鍛燒溫度的測定方法——3 爐	
	火的控制——4 風量的控制	

把含碳量在 1.7% 以下的鋼料熱到紅軟程度，用錘擊的方法，把它打成所要的形狀，這就是大家很熟習的「鍛工」形象。但是仔細說起來，鍛工的全部作用，是不僅爲了得到鍛件的形狀，更重要的是通過這樣一次加熱鍛打，把原來鋼料的材料性質，機械強度，加以改善。因此，我們也常常會發現有時候像軸一類圓柱形的工件並不一定就用圓料直接加工，却仍要鍛打過才用，就是這個道理。

既然鍛工的作用是包括了「定形」和「定質」雙重內容的了，那麼我們再進一步看看，在加熱，鍛打的過程中，究竟有哪些問題會影響它們的工作成果呢？

1 首先是鍛件原料的材料質量，是哪一等級的鋼？是鑄錠還是「軋材」？成分如何？有沒有夾灰，縮裂，等疵點？

2 其次是開始錘擊和停止錘擊的加工階段內，鍛件的紅軟程度是否合適？也就是始鍛溫度和停鍛溫度範圍的問題。

3 加熱方法（用什麼樣子的爐和燃料）以及加熱速度的緩急和在爐裏停留時間的長短。

4 還有，在錘擊的時候，鍛打方向和輕重的問題。

5 最後是鍛件打成了後，冷卻方法如何？是否還要經過了必要的熱處理？

我們也都非常熟習地認識到，加熱，不斷地加熱，就可以把冷硬的鋼鐵，燒紅軟化，以至於熔成鐵水。由這可見變化鍛件材料性質的根本因素是鋼料原來的性質和加熱溫度，至於錘擊方法，那祇不過是一項重要的輔助條件而已。

爲了很好地實現任何工件鍛造加工的生產目的，正確加熱方

法所保證的加工溫度就是最重要的了。否則最顯明的例子像燒的不透，溫度太低等，錘擊時就會發生困難，甚至於打炸裂了鍛件。溫度太高了時，又會燒壞了材料。它們都是浪費工時，原材料，造成廢品，妨礙生產的主要原因。

以下，我們談一談鍛件加熱的基本問題：

一 熱鍛對鋼鐵性質的改變

假設我們用顯微鏡來觀察鍛件鋼料的組織，可以看出它是由許多細小的晶體以一定的組織方法所構成的。假如把鋼料漸漸加熱，起初晶體組織還沒有什麼變化，等加熱到某種溫度後，晶體組織就要開始變化了，這一溫度叫做「變態溫度」，也叫做「臨界溫度」。這種使結晶組織開始變化活動的溫度是有相當範圍的，就是說在這範圍以內，雖然組織開始變了，但還沒有變成另外的什麼（指固溶體），這種溫度範圍叫做「臨界溫度範圍」。

鍛造可分為熱鍛與冷鍛兩種。所謂熱鍛，是指臨界溫度範圍以上的鍛打；而冷鍛是指臨界溫度以下的鍛打。不過實際上以 650°C 作標準，高於 650°C 的鍛打稱為熱鍛；等於或低於 650°C 的鍛打叫做冷鍛，又叫冷作。

這一章所討論的是熱鍛對於鋼鐵性質的改變。當我們把鋼鐵加熱，在 710°C 以下時，鋼鐵的成分和組織上還都沒有什麼變化。當加熱超過 710°C 時，最顯著的是組織發生了變化。成分方面的變化，雖不很顯著，可是在某些特殊情況下，也初步有了一定的變化。這些變化如下：

1 碳的變化

一、含碳量的改變——鋼鐵在煤爐中加熱時，往往吸收了爐中

的碳或燒掉鋼鐵一部分表面的碳質。比如高碳鋼的表皮脫碳和低、碳鋼有時發現的增碳現象。

二、銹皮的產生——鋼鐵在高溫爐中加熱，它的表面會跟空氣中的氧氣化合成氧化鐵，而產生銹皮。

2 組織的變化

一、晶體顆粒的變化——晶體顆粒的大小，叫做粒度。金屬加熱到臨界溫度以上，晶體的粒度就開始發生變化，而鍛打的情況在晶體變化的過程中起着壓擠揉動作用，所以也要影響到晶體的粒度。我們知道鍛件的強度，與晶粒的大小關係極為密切，晶粒愈細，強度愈高。最好的鍛打情形，就是怎樣使鍛件顆粒比原來鋼料變得更細。圖 1 是表示鋼鐵在加熱、鍛造、冷卻過程晶體顆粒粗細程度

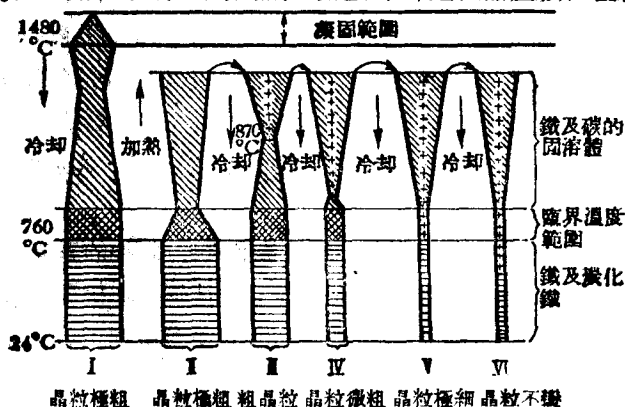


圖 1

的變化情形。圖中投影部分的寬度，表示晶粒的粗細。投影寬的部分表示晶粒粗，狹的部分表示晶粒細。有「+」記號的，表示鍛打過程。箭頭向上表示加熱，箭頭向下，表示冷卻。I 格是澆鑄鋼錠的冷卻過程中粒度的變化。II 格是鋼錠鍛造加熱的情況。當溫度未升到

臨界溫度範圍時，粒度沒有變化，達到臨界溫度範圍以後，晶粒逐漸變細。但超過臨界溫度範圍，晶粒又漸變粗。III格表示在臨界溫度範圍以上就停止鍛打的情形。在鍛打過程中，晶粒逐漸變細。但在臨界溫度範圍以上，鍛打一停止，如在 870°C 時停止鍛打，晶粒又逐漸變粗，直變到臨界溫度範圍為止。此後溫度繼續降低到常溫，晶粒不發生任何變化。IV 格表示鍛打將要達到臨界溫度範圍才停止，則鍛件所得到的晶粒比較細。V 格表示停鍛溫度是臨界溫度範圍的最低點溫度，結果得到鍛打所能達到的最細晶粒。VI 格表示停鍛溫度低於臨界溫度範圍，是不會使晶粒變得更細，僅僅使晶粒發生位置移動和變形，使鍛件產生內應力，還使鍛件成了扭曲變形，甚至開裂。

二、改善組織強度——鋼錠內部常存在着細小的孔隙，裂痕和雜質。這些缺點都可用鍛打來改善，使小的孔隙和小的裂痕消除，使雜質擴散而成較均勻的金屬。換句話說，就是使金屬的分子更緊密地接合，而增加了它的強度。不過消除小孔及裂痕，高溫的鍛打，才能完成這個任務。

三、硬度及韌性的變化——鍛打後的鍛件，鍛件的表皮，會產生一層硬皮。多數合金鋼，鍛打後冷卻時往往變硬。故需正常化或退火手續來改善它的韌性，或減少硬度，以便機械加工。當然施行這種熱處理的主要目的還是減少內應力和防止加工後的變形。

鋼錠經鍛打後，是改善了它的物理性質，最顯著的是韌性的改善。如鎳鉻鋼錠在未鍛打前，它的強度如下：

抗張力	54.14 公斤/平方公厘
彈性限度	27.4 公斤/平方公厘
伸長	10.5 % (50公厘)
斷面積減少率	16.9 %

經鍛打後，物理性質得到了改善，它的強度試驗如下：

抗張力	53.7 公斤/平方公厘
彈性限度	35.5 公斤/平方公厘
伸長	27.5 % (50公厘)
斷面積減少率	43.3 %

四、加熱時鋼鐵抗張力的變化——鋼鐵加熱時，它的抗張力是

隨加熱溫度而變化，由實際結果，碳鋼在初加熱時，抗張力逐漸增加，在300°C左右，抗張力為最大。300°C以上，抗張力隨溫度增高而降低得很劇烈。如圖2是含碳0.5%、0.1%及0.9%的三種不同的鋼之實驗記錄，圖中表示的意義是：含碳0.1%的鋼在常溫時，抗張力是35公斤/平方公厘，加熱後抗張力先增加，至300°C時是42公斤/平方公厘，300°C以後，抗張力遂急劇降低，到了1000°C時，抗張力只有5公斤/平方公厘。

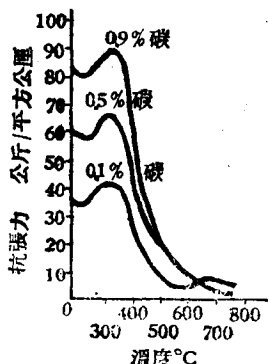


圖 2

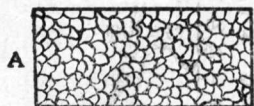
二 鍛造和加熱溫度的關係

1 鍛造溫度 由上節中的實驗，可知鍛燒溫度愈高，金屬也就愈容易鍛打。可是鍛燒溫度，也是有限制的，若是溫度燒得太高，結果會把鋼料成分中的某些元素燒毀，破壞了它的晶粒組織。燒毀的鋼料，除把它重新熔煉外，是沒有方法使它復原的。開始鍛打最適宜的溫度，我們叫做「始鍛溫度」。

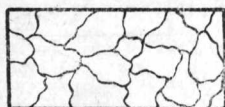
當鍛打進行時，鋼件的溫度又逐漸降低，抗張力也逐漸增加。所以溫度降低到某種程度後，就不宜再鍛打了。如果還繼續打下去，不僅浪費人力和時間，而且會使鍛件產生內應力甚至鍛裂。所

以停止鍛打的溫度條件也有一定的限度。停止鍛打最適宜的溫度，我們叫做「停鍛溫度」。普通停鍛溫度約高於臨界溫度 50°C 最適合。例如含碳 $0.4\sim 0.5\%$ 的碳鋼，它的停鍛溫度應在 $800\sim 850^{\circ}\text{C}$ 之間。

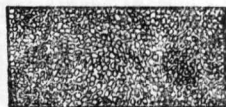
始鍛溫度要多高纔最適宜？需要看鋼的成分和鍛打的程度來決定。普通熱到熔點以下 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ 是最適宜的始鍛溫度。碳鋼含碳愈低，熔點愈高，因此含碳高的，始鍛溫度愈低；含碳低的，始鍛溫度就要高些。倘鍛件加工不多，只需稍加鍛打，那麼只要燒到



A



B



C

圖 3

臨界溫度以上適當的溫度就可以了，不必把溫度燒得太高。因鍛打的時間不長，若鍛件溫度燒得太高，使停鍛溫度太高，鍛件在高溫中便停止了鍛打，晶粒就會增大，圖 1 的 III 格中表示得很清楚，這樣會降低鍛件的強度。表 1 列出幾種鋼的鍛打溫度範圍。

圖 3A 為未加熱前鋼錠的組織，晶粒粗而不均勻。B 為加熱到始鍛溫度後，未經鍛打或稍加鍛打的組織，晶粒變得更粗。C 為經過適當鍛打後再經正常化或退火後的組織，晶粒細而均勻。

2 透燒 小型鍛件，透燒並不十分重要。大型鋼件加熱，內外溫度往往相差很大。外部雖然達到始鍛溫度，內部溫度可能還未紅熱，所以必須保持這個溫度再鍛燒一段時間，使內外溫度一樣，這項工作，叫做透燒。透燒時間，要看鋼的種類，形狀大小和鍛燒情況等來決定。

例如 200 公厘方鋼，在 1200°C 爐中加熱，經 36 分鐘後，外面

溫度是 620°C, 中心溫度還不到 460°C; 一小時以後, 外面溫度達 800°C, 中心溫度是 680°C; 經過四小時以後, 內外差不多才燒透。

表 1

金 屬	成 分	始 鍛 溫 度		停 鍛 溫 度	
	%	°C	°F	°C	°F
低 碳 鋼	碳 0.1 ~ 0.3	1300	2370	850	1560
中 碳 鋼	碳 0.4 ~ 0.5	1250	2280	850	1560
	碳 0.6 ~ 0.75	1200	2190	850	1560
	碳 0.76 ~ 0.85	1180	2150	850	1560
高 碳 鋼	碳 0.86 ~ 0.95	1150	2100	850	1560
	碳 0.96 ~ 1.05	1150	2100	900	1650
	碳 1.06 ~ 1.15	1120	2050	900	1650
	碳 1.16 ~ 1.35	1090	2000	900	1650
	碳 1.36 ~ 1.40	1040	1900	900	1650
鎳 鋼	鎳 0.5	1090	1990	900	1650
鉻 鋼	鉻 1.2	1150	2100	900	1650
高 鉻 鋼	鉻 11 ~ 15	1280	2340	900	1650
鎳 鉻 鋼	鎳 1.25 ~ 4.5 鉻 0.3 ~ 1.3 碳 0.1 ~ 0.5	1100	2010	900	1650
高 速 鋼	鎢 8 ~ 18 鉻 3 ~ 7 碳 0.45 ~ 0.8	1250	2280	1000	1830
高 錳 鋼	錳 12 ~ 14	1200	2190	900	1650
不 銹 鋼	鉻 12 ~ 14 碳 0.1 ~ 0.5	1100	2010	900	1650
莫 奈 爾 合 金		1150	2100	—	—
純 銅		983	1800	—	—
黃 銅		760	1400	—	—

如圖 4 表示三種鍛燒情況，而影響到鍛件加熱溫度的不均勻情形。一般來說，加熱溫度不均勻的程度愈大，需要透燒的時間也愈長。圖 4A 表示巨大的圓棒和方棒直接放在反射爐的爐床上加熱的各部分溫度分佈情況，鋼件的下方和中心部分的溫度較低，所以透燒的時間較長。圖中黑色部分，表示該處溫度最高；黑點部分的溫度略低；投影的部分又要低些；白色部分溫度最低。B 表示在爐中放一支架，把鋼件放在架上加熱，它的下面因此也可以直接受到火力，僅中心部分的溫度較低，所以透燒時間可以短些。C 圖表示雖然採用了支架，可是兩件鍛件互相緊密接觸，那接觸部分不能直接受到火力，它的結果與 A 一樣。

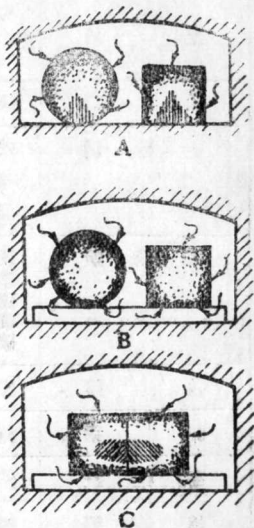


圖 4

鍛件內外溫度相差過大，若不經過透燒就動手鍛打，嚴重的是鍛件外部發生裂痕如圖 5，較輕的也引起內部的應力，使鍛

件發生變形。

3 加熱不均對鍛件的損害

一、加熱太快——除設備完好的加熱爐外，一般煤爐的爐溫，很難正確控制。當巨大鍛件若驟然放進很高溫度的爐火中，使鍛件內外溫度相差更大，增加了透

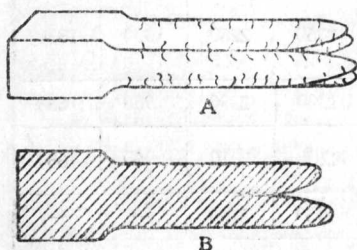


圖 5

燒時間。這種情況在能正確控制爐溫的爐中加熱，影響還不大。若

在普通難於控制爐溫的煤爐中急速加熱，可能外部業已燒毀而內部尚未赤熱。對截面不規則的鍛件，更不宜加熱太快，否則易於發生扭曲及裂痕。許多合金鋼，熱的傳導率低，尤其不應該加熱太快，甚至在高溫加熱前，需在低溫爐中先行預熱，以免產生裂痕。此外加熱太快，還易使晶體顆粒變粗和阻止組織均勻的傾向。

二、外部太冷——相反的情形，若鍛件內部比外部溫度高得多

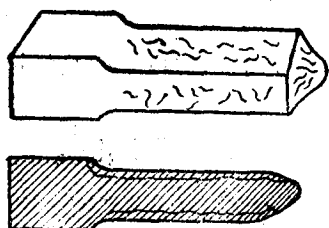


圖 6

時，外部因冷却已有相當硬度，而內部溫度還很高時。經鍛打後，仔細加以檢查，內部常有裂痕產生。當然這種情形不是常見的現象。除非鍛件特別大，鍛打的時間太長；或出爐後等了一段時間才鍛打，纔有這種現象產生，如圖 6。

以上兩種情況下所產生有裂痕的鍛件，若把它均勻地加熱，等軟化後，重新鍛打，可以彌補這些裂痕。

4 怎樣減少銹皮 銹皮是鐵的氧化物，普通加熱和鍛打一次的過程中，要損失鋼料的 1.5 ~

表 2

2.5%，加熱次數越多，損失越多。要絕對不產生銹皮，是不可能的，縱然在設備很好的電爐中加熱，並用惰性氣體通入爐內，可以保證在加熱過程中不致產生銹皮，可是出爐後一與空氣接觸，仍能產生銹皮。各種加熱爐中銹皮產生的情況如表 2。

爐的種類		銹皮損失
電	爐	0.6~2%
油	爐	2~3%
煤	氣 爐	1~2%
煤	爐	4~5%

銹皮雖然不能絕對避免，可是我們希望所產生的銹皮薄而容

易脫落，否則不僅多損失材料，而且影響鍛件表面的平整和造成表面夾灰斑點。下面把各種狀況下加熱，銹皮產生的情形，加以說明。

一、緩熱則加熱時間長，能增加銹皮的產生；但緩熱鍛件的溫度低，又可減少銹皮的產生，互相抵消，因此緩熱對銹皮的影響不大。

二、先行低溫預熱，再經高溫爐中加熱，這樣在高溫爐膛內停留時間較短，可以減少銹皮的產生。

三、隔絕空氣或通惰性氣體的電爐中加熱，可以避免產生銹皮。

四、油爐或瓦斯爐中加熱，調節適當的空氣與燃料比率，可以減少銹皮的產生。

五、控制鼓進煤爐的風量適當，使產生中性爐火，可以減少銹皮。

三 鋼的正確加熱法

1 碳鋼 碳鋼是鍛造加熱中最常遇到的，它的正確加熱，是爲了保證鍛件品質優良的基本條件。今將其要點介紹如下：

一、緩熱——緩熱是大型鍛件的加熱要訣，常本着一個習慣的方法，就是先看鍛件的直徑或厚度和它的成分，來決定鍛件從常溫加熱到始鍛溫度的時間。普通低碳鋼的加熱，可以較急，大約每公分需要6~8分鐘。高碳鋼的加熱時間應較長，每公分厚約需加熱12~16分鐘。現場中，可以表3作參考，直徑75公厘以下的，含碳不超過0.5%的鋼，可以直接放入高溫爐中加熱。如直徑大於75公厘鋼件，最好爐溫與鋼件的溫度差，不要大於280℃。換句話說，冷卻的巨大鋼料加熱時，爐溫應自300℃左右開始。所以太大的鍛

件，加熱應分預熱和昇熱兩個步驟進行。在預熱爐中，加熱需要較緩，碳鋼的預熱溫度為 $400\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。在昇熱爐中，可以較快。表3是含碳 $0.4\sim 0.5\%$ 鋼的直徑與加熱時間的關係。

表 3

鍛件直徑	加熱時間
公厘	分/公分
75以下	2
75~225	6
225以上	24

二、加熱均勻——大型鍛件內部與外部的溫度，經常相差很大。所以燒到始鍛溫度時，要使爐火保持這個溫度，經過一段透燒的過程，使鍛件內外部的溫度均勻。但透燒時間也不要太長，太長會使鍛件的晶粒變粗。透燒時間

約為加熱時間的四分之一。對於淬火，透燒更是必要，但表面淬火例外。

在熱度不均勻的敞式煤爐中加熱，在加熱過程中，還要經常轉動鍛件的方向，使加熱較為均勻。尤其斷面積相差較大的鍛件，更應把最厚處放在火力最強的處方；太薄的部分，有時還應當把它放在爐火外面，以免局部過熱。

三、不要超過始鍛溫度——最適宜的始鍛溫度，是熔點以下 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ，超過了容易使晶體顆粒粗大，鍛件脆弱甚至燒毀。倘不小心，而過熱情形不太嚴重時，必須使溫度降到臨界溫度範圍以下，再重熱到始鍛溫度，開始鍛打，這樣才能恢復強度，使過熱粗大的晶粒復原。

四、凡比較重要的鍛件，在鍛打完畢後，因各部所受鍛打的程度很難一致；每處的停鍛溫度也不相同；晶粒也不會均勻，還有內應力的存在。這種鍛件不能得到它應有的最大強度，所以必須經過一次正常化手續。鍛打後需要淬火的鍛件，更必須先經過這種處

理，以免淬火時發生裂紋。

高碳鋼鍛打後，若需要加工的，則需要經過退火手續。

例 含碳 0.5% 的碳鋼，它的直徑為 250~1000 公厘，適宜的加熱溫度和時間，可參考下列數據：

預熱溫度	540°C
預熱時間(自室溫至540°C)	18分/公分
昇熱溫度	1250~1300°C
昇熱時間	10分/公分
透燒時間	約為加熱時間的 $\frac{1}{4}$

如用上面所述的材料來鍛造三曲拐柴油機中型軸，主軸直徑為 150 公厘，總長 1568 公厘。它的初步鍛造加熱溫度和加熱時間如下：

開始加熱時的爐溫	250~300°C
預熱(由250°C加熱到550°C)	18小時
昇熱(由550°C加熱到1265°C)	10小時
在1265°C透燒	6小時
停鍛溫度	800~350°C

2 合金鋼 因多數合金鋼的導熱率低，在高溫時仍具有較高的強度；而鍛打溫度範圍較低，超過了這個範圍，大部分合金鋼都有熱脆性。由於這些因素，往往鍛打時產生裂痕，所以合金鋼的鍛打，是比較困難的。正確的加熱要點如下：

一、在加熱以前，須了解合金鋼的種類和成分，才能決定它的加熱溫度；

二、若用煤爐加熱，必須選用含硫少的煤炭或焦炭。因在高溫加熱時，煤中的硫易滲入鋼內，更增加它的熱脆性；

三、一般合金鋼加熱，凡厚度稍大的，都必須先經過低溫預熱過程；再送入高溫爐中昇熱。預熱不僅可減少鍛裂，而且因為縮短

了高溫加熱時間，故可減少銹皮和表面脫碳現象。

四、一般合金鋼的鍛打，始鍛應輕，然後方可重擊。

五、鍛打鋼錠時，因在邊角上常產生橫的裂紋。鍛打時如被發現，可用餅形鑿子，把裂痕部分鑿去。鑿去部分應為緩和的半圓缺口，以免裂痕繼續發展。

六、鍛打完成後，應該緩緩冷卻。

除了上面所舉六項要點外，關於碳鋼加熱的各項要點，對於合金鋼不僅還是適合，而且更為重要。

合金鋼加熱的一般性的要點，雖然如上所述，可是合金鋼的種類太多，有個別說明的必要，所以下面選了幾種重要的合金鋼，作簡單介紹，以供參考：

鎳鋼 含鎳5%以下的鎳鋼，鍛製容易。但含鎳在5.5%以上，鍛打就相當困難。加熱到 1100°C 以上，就有熱脆性，所以始鍛溫度不應超過 1090°C ，停鍛溫度不應低於 900°C 。

鉻鋼 低碳鉻鋼較高碳鉻鋼容易鍛打，但需注意緩緩加熱。適當的鍛造溫度，隨含鉻量而異：低鉻鋼為 $1150\sim 900^{\circ}\text{C}$ ；高鉻鋼為 $1000\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。鍛燒應先預熱至 850°C ，每10公厘厚應維持預熱時間15~30分鐘後，方可昇熱。鍛打應先輕後重，完成後需退火。

錳鋼 一般錳鋼多為鑄造，但也可以鍛製或碾壓。加熱必須極緩而均勻，鍛打溫度的範圍很狹，約 $1200\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。約在紅熱左右時，脆性就很大了。開始鍛打時要輕，緩緩加力錘打。鍛打完成後的冷卻，不能太緩，太緩反而增加脆性。如加熱至 1000°C 時淬冷，韌性大大增加，而強度增大三倍，並且延展性與熱鐵相似。

鈦鋼 韌性很大，鍛打也很容易，始鍛溫度不宜太高，黑熱時有脆性，適宜的鍛打溫度範圍為 $950\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。