

钢的锻造

(锻造金属学和工艺基础)

洛施卡辽夫著



机械工业出版社



鋼 的 鍛 造

(鍛造金屬學和工藝基礎)

洛 施 卡 辽 夫 著

徐 經 庭 譯



机械工業出版社

246/06

出版者的話

本書根据苏联 В. Ф. Лошкарёв 著 [Производство стальных поковок] 第一册 (Металловедение и основы технологии) (Металлургиздат 1953 年第一版) 一書譯出; 因原書第二册迄今尚未見到, 故暫以單行本出版。

本書叙述鍛件生产用鋼料的主要特性, 它們的金属学知識和在鍛压过程中的形狀, 詳尽地介紹了鍛件中合金的和鍛压的缺陷, 以及防止和消灭这些缺陷的方法。書中也討論了变形不均性的問題, 鍛造时寬展和延伸与溫度、壓縮率之間的关系, 以及鍛件纖維狀粗型組織形成的原因。此外, 还討論了鍛件的加热和冷却的条件, 以及有关鍛压工艺原理的問題。

本書可供冶金工厂和机器制造工厂的工程技術人員参考, 也可供高等工業学校的学生参考。

苏联 В. Ф. Лошкарёв 著 'Производство стальных поковок'
(Металлургиздат 1953 年第一版)

*

*

NO. 1446

1957年10月第一版 1958年5月第一版第二次印刷

850×1168 1/32 字数 227 千字 印張 8 7/8 191—3 900 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

國家統計局印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.70 元

目 次

緒論	5
第一章 鍛件的热处理	9
1 总論	9
2 退火	11
3 正火	14
4 高温回火	15
5 等溫退火	18
6 均匀化	28
7 再結晶退火	30
8 最后热处理	31
9 錘杆的热处理	34
第二章 鍛件中的疵病	44
1 白点	44
形成白点的因素(48)——防止白点形成的措施(57)——鍛件的冷却(61)——对白点形成过程業已提出的解釋(66)——产生白点的温度条件(66)	
2 髮裂	70
3 分層	77
1X13~3X13号高鉻鋼料的分層(84)——鍛压分層(86)——折断試驗时产生的分層(94)	
4 [銀絲]和[扁豆]	96
5 岩狀断面	97
6 由粗型組織的不均性所引起的缺陷	99
縮管与縮孔(99)——异金屬夾杂物(102)	
7 其他內部結構的反常	106
稳定的自然粗晶粒組織(106)——偏析現象(108)——含銅鋼料的热脆性(108)——脫碳(112)——萊氏体鋼料鍛件中內部的軸向裂紋(113)	
第三章 鋼料和鍛件質量的檢查	115
1 总論	115
2 粗型組織的檢查	122
3 断面的檢查	133

4 非金屬夾雜物的檢查.....	134
5 機械性能的檢查.....	139
第四章 高溫下鋼料的塑性變形	143
1 變形的概念.....	143
2 晶體塑性變形的本質.....	144
單晶體的變形(147)——多晶體的變形(148)	
3 力和應力.....	150
塑性壓縮——鐵粗(156)	
4 殘余應力.....	157
5 外摩擦.....	161
6 主應力圖.....	167
7 主變形.....	168
8 變形的不均性.....	179
變形不均的結果(187)	
9 溫度對塑性變形過程的影響.....	195
X13H7C2號鋼料鍛件中的局部粗晶粒組織(204)——X10C2M號鋼料鍛件中的局部粗晶粒組織(207)——蔡狀斷面(212)	
10 金屬的溫度及其對塑性變形的抗力.....	215
第五章 變形速度和變形抗力	223
1 基本概念.....	223
2 記錄絕對壓縮量-時間曲線的儀器.....	228
第六章 鍛造過程的熱力條件	238
1 鍛造用鋼料的加熱.....	238
2 始鍛和終鍛溫度.....	249
第七章 鍛錘下的自由鍛造和模鍛	258
1 自由鍛造.....	258
2 模鍛.....	264
3 模鍛件的粗型組織.....	269
附 錄	280

緒 論

在苏联第五个五年發展計劃中，規定了黑色和有色冶金工業及其他工業部門的生产要高度增長。

这样，1955年生鉄的产量將較1950年大致增加76%，鋼增加62%，压延品增加64%。

全部煉出的鋼料約有3/4要經過压延車間加工。約有20%的鋼料要用鍛造、模鍛和压制等方法加工。

如果注意到在汽車、機車、拖拉机、飞机等等机器中，模鍛件和鍛件的重量約占这些机器总重量的60~80%，那末，鋼料鍛件的生产对于我国国民經济的意义就不言而喻了。

我国机器制造业1950年的产量增为1940年的2.3倍。这种增長是在新的技术基础上产生的。在我国机器制造工厂中采用最广泛的高效率的生产方法和工艺过程中，也包括鍛造-模鍛在內。

在苏联科学工作者和生产工作者亲密合作的基础上，鍛压-模鍛生产的理論和实践得到了很大的發展，和其他部門的国民經济一起，促进了人民的福利和不断地提高了社会主义国家的实力。

社会主义工業革新者的队伍行列是極長的。这个队伍并在逐日成長。昨天所达到的成就很快地就会被今天另一个成就大大地超过。

卡达也夫（Ф. М. Катаев）和查哥尔諾夫（А. П. Загорнов）——高尔基城莫洛托夫汽車工厂的头等鍛工——曾倡議發动了一个在鍛压生产中降低劳动力的运动。

烏拉尔奥尔忠尼啓則重型机器制造厂的先进鍛工和技术人員曾使鍛压設備的利用率达到了90%，節約了大量的合金鋼和燃料，并节省了25%的劳动力。

苏联科学工作者們在鋼料塑性变形理論和实践方面所获得的

成就，即使擇其最重要的，也難列舉完全。蘇聯科學工作者和鍛工中的斯達漢諾夫工作者們的勞動，証實了物質不被破壞而變形的能力不僅決定於構造和成分，而且決定於加工條件。這個原理推翻了鋼料性能不變的錯誤概念，大大推動了去創造在高度塑性條件下對金屬進行壓力加工的工藝過程。

隨立體應力狀態影響的加強，增加了金屬的塑性，但在另一方面也增長了變形抗力。蘇聯科學工作者們揭示了這種現象的矛盾性之後，就指導了蘇聯的工藝師們編制工藝過程和技術條件，來對這個矛盾大大地加以限制而使之減至最小。

過去，認為鍛造時在加工工具（錘頭、鍛模及輥）的表面和圓柱體其餘部分之間所包圍的滑動錐是一個它本身不受變形的圓錐體。關於在變形金屬圓柱體的內部好像存在有這種圓錐體的機械論，現在已被最後推翻了。蘇聯科學工作者和工程師們的理論和實驗工作，証明了在鍛造時這樣的圓錐體是沒有的，不過，証明了在鍛件變形核心的全部容積中卻存在着變形的不均性。由此，關於塑性變形流動的概念得到了根本的改變，並揭示了現象的物理實質，同時也確定了與此有關的鍛件各部中變形鋼料的不一致性。

最後，上述各點的直接結果就是存在於总的變形程度和再結晶晶粒大小之間的关系也得以確立。

再結晶問題的研究工作，已使得能用正確的鍛造加熱規程和隨後適當的鍛件熱處理的方法，來有效地防止鍛件局部的及全面的粗晶粒組織。

在塑性變形過程條件下給予金屬所需之形狀時，片面構成的全部所謂金屬壓力加工基本問題，已根本改變。

根據現代的科學論述和生產中的實踐，所有金屬壓力加工（包括鍛造在內）工藝過程的主要問題在於創造這種改變形狀的條件，使它能保證獲得優質的制品及其使用中的經久性和有效性。

在再結晶理論方面，蘇聯科學工作者們研究了在超過 90~95% 的高度變形範圍中重新出現晶粒尺寸的二次極大現象。這個

發現根本上改变了关于再結晶过程的論点，为控制塑性变形过程創造了更寬广的可能性。

苏联研究工作者們正在探討与揭示同塑性变形抗力有关的問題，并考察它与許多因素之間的复杂关系，这种复杂关系即將代替塑性变形抗力仅与强度極限和屈伏極限有关的簡單假定（其中某些現已这样确定）。

在塑性的数学理論范疇中，近年来我們已获得了很大的进展，这主要应归功于依留申（А. А. Ильющин）、索柯罗夫斯基（В. В. Соколовский）、謝夫欽柯（К. Н. Шевченко）和其他許多苏联的科学工作者。

在塑性变形問題的实验-理論研究工作方面，庫茲聶卓夫（Вл. Д. Кузнецов）、戈別金（С. И. Губкин）、巴甫洛夫（Иг. М. Павлов）、郭洛文（А. Ф. Головин）、采里柯夫（А. И. Целиков）和其他苏联科学工作者們的成就已为众所周知。

苏联有关塑性变形过程科学的特点在于它是面向生活的，積極的，永远为在科学前面开創新道路的实验所推动的。

我們有关塑性变形过程科学的發展是在辯証的条件下进行的。

外摩擦問題对于發展鍛压工程有特別重大的意义。但应指出，我們在这一方面知識水平还不高。虽然早就知道了外摩擦的影响，譬如拔絲时早就有了能降低变形能量消耗而工作良好的潤滑剂，但在模鍛-鍛压生产中，这种潤滑剂問題还未能解决。在这一范疇中我們只有一些簡單的概念以及有关測定外摩擦系数的方法等建議。虽然目前在热模鍛时还缺乏有效的潤滑剂，在鍛压时差不多完全沒有对外摩擦的控制，但我們也已弄清了上述方式的弱点和鍛造、模鍛及压制时有关外摩擦的概念。其中最明显的就是降低接触摩擦能大大地增加昂貴的模鍛工具——鍛模——的寿命和提高鍛錘的产量。

关于在保証鍛件有高度質量的条件下，用鍛造-模鍛的方法給

予金屬以一定形狀的問題的解決，不待說，當然要以通曉鋼料的性能及其在加工條件下的變化和在煉鋼與鍛壓生產中所產生的金屬缺陷為前提的。

本書將分出一部分篇幅來闡明這些問題。有關鍛件性能和鍛壓缺陷的資料中的主要部分，是我國許多大批製造各類碳素鋼和合金鋼料鍛件的工廠之一從事鍛壓-模鍛生產 20 年以上經驗的總結，同時，還採納了參考文獻中所列有的一些數據。

在鍛壓-模鍛工藝過程中鋼料變形的始鍛和終鍛溫度的選擇問題，對於該項生產實有特殊意義。對普通碳素鋼而言，其終結變形的溫度若位於鐵-碳平衡圖中 GS_E 綫的附近，而同時又為實驗所証實的位置上，那就是合理的。但對合金鋼而言，這個位置就常要落入不可確信的假想中了。

在合金元素的作用下，由於冷卻時臨界點急劇下降，對於終結變形溫度的確定不能取決於這些臨界點的位置。

制品的質量可以根據為拉伸和疲勞試驗所確定的機械性能的數值，並根據粗型組織及顯微組織晶粒的大小來評定。不過，制品在工作的條件下，只有工作能力的提高才是其決定性的評價。當然，這種測定制品質量的方法是昂貴的，但為了確定工藝過程的主要參數，這仍然是唯一可靠的方法。

本書將探討粗型組織各基元的變形和鍛件性能之間的关系問題，同時還要討論鋼料各種冶金缺陷在鍛造和模鍛過程中的性狀。

本書將提供對白點形成過程新的理解，根據作者的意見，認為這個理解有說明現有白點形成的理論和觀測到的事實之間存在矛盾的可能性。

作者期望本書出版能使鍛件的質量和鍛壓-模鍛生產的勞動生產率有進一步的提高。

作者對科學技術博士柯爾聶也夫 (Н. И. Корнеев) 教授的寶貴意見和卓越的批判表示感謝。

第一章 鍛件的热处理

1 总論

鋼料的化学成分是其主要特征之一。附录 1 中提供了在鋼料鍛件生产中經常采用的各种类别和各种牌号的鋼料表。

鋼料按其組織分类的資料，在研究塑性变形的条件、热处理規程和其他生产上的工艺因素时，具有重要的意义。

附录 2 是鋼料按其組織和临界点来分类的。

鍛造后直接在靜止空气中冷却的鋼鍛件，有这样的性能：不經正火、退火或高溫回火等形式的預行热处理，就不能进行机械加工和热处理。

由于初鍛和終鍛溫度的波动不可避免，以及鍛件各部变形的不均性，在許多情况下，甚至在同一鍛件內各部分的晶粒大小也不相同。同时，由于过热的結果，常常可以遇見具有全面粗晶粒組織的鍛件。所有这些，再加上鍛造后冷却条件的不固定，便在鍛件中产生了相当大的殘余应力。最后，鍛件鍛造后的冷却条件不固定也能导致各鍛件硬度有較大的区别，而对由馬丁体鋼的〔如：18XHBA(M)A〕或珠光体-馬丁体鋼的鍛件，能达到压痕直徑为 2.9~3.3 公厘高的布氏硬度。

硬度不固定或硬度很高的鍛件，在加工时能降低金屬切削机床的产量，損害已調整好了的机床，增加刀具的損耗。从另一方面看，这种在机床上加工过的零件能随時間而变形，甚至变得完全不适用。这种变形就是由鍛件中的殘余应力所引起的。

如鍛件在机床上加工之前，未經預行退火或正火就进行調質热处理，照例会因有裂紋而产生大量廢品。

总之，鋼件鍛造冷却后随即进行机械加工或最后热处理，都

是不許可的。这个論述对任何类别鋼料所制的鍛件來說都有效。

为了获得更一致的显微組織，鍛件在承受預行热处理时应避免可能产生的过热，消灭其絕大部分的殘余应力和降低其硬度。

在說明鍛件每个形式的預行热处理以前，我們應該先討論一下对热处理爐总的要求和対热处理过程的控制。对于操作时间要很長的热处理，像退火、等溫退火、扩散退火（均匀化），采用帶活动爐底的箱形爐最为合理。正火和高温回火則在長的輸送帶式爐中进行較为有效。圖1簡略地表示了这样的爐子（沿其軸綫的剖面画出）。

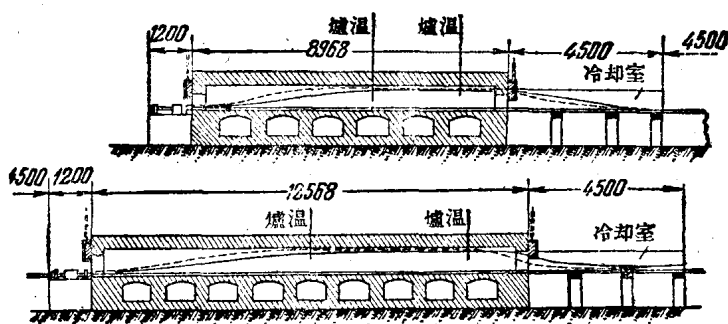


圖1 輸送帶式正火和退火爐的剖面簡圖：

——爐溫；——金屬溫度。

在这些爐子中，热处理一直可以連續进行，直到修爐时为止。

任何处理鋼料的热处理爐，其全部爐膛的溫度必須保持固定。爐膛中的允許溫度差为 $10 \sim 15^\circ$ ，这样才能保証产生最少量的廢品和得到優質的鍛件。为了建立上述固定的溫度，对爐子的研究和調整，特別是对重造或大修的爐子，必須要对这种溫度差迅速地予以补偿，以保証进行有节奏的生产。

溫度的連續檢查，可借帶記錄器和調整仪器的热电偶进行。热电偶的数目只能决定于每一个爐子的形式。靠近爐子出口附近的热电偶应裝在离出料口 $2 \sim 3$ 公尺的地方，至于其它热电偶的位置，則可用实验的方法求出。

这项工作可以这样做：假定底盤在爐中每二次定时推进之間的时间間隔是 5 分鐘，在制訂爐子的操作規程时，可以当出口处的热电偶保持在所定的溫度和帶鍛件的底盤業已出爐的时候，測定其裝載物已热至正火溫度的底盤数目。假定这样的底盤数目为 4，根据这些数据我們可以得出結論，即每一个底盤的鍛件处于正火溫度的时间是 20 分鐘。裝載在底盤中的全部鍛件完全加热的所需時間應該事先測定。为此，仅需測定裝載鍛件最密的底盤的加热時間就已足够了。至于对其他裝載鍛件較疏的底盤，这求得的时间將有很大的裕量。假定事先測定的加热時間是 30 分鐘，在这种情况下，底盤在爐中 5 分鐘的定时推进時間是不足了。事实上，裝載鍛件最密的底盤在極限溫度区域逗留 20 分鐘就会帶着加热不足的鍛件出爐。因此必須加寬極限溫度的区域。这在入料口那一面加寬是最方便的。用在入料口和入口 处热电偶之間的空间中加强热流的方法便可达到这种加寬作用，而这往往要求裝置額外的油噴咀或煤气咀。我們注意，此后裝載鍛件的底盤在爐中的定时推进虽然仍为每隔 5 分鐘一次，但如前所述，由于加强了加热，現在加热到極限溫度的底盤数已是 6 个了。这就是所求的爐子的合理操作規程。現在就足可在爐中找到一个最靠近入料口的地点，在該处溫度極接近于底盤中最上面鍛件的溫度而等于極限溫度。就在这里我們裝置第二个热电偶。

如在爐子热处理过程中，二个热电偶均指示热处理的極限溫度，則所有的鍛件都能热透。这个方法除了保証鍛件的高級質量以外，还可以降低燃料的消耗。

所有这些都适用于正火及回火用的連續操作爐。回火时，連加热時間的測定也不需要：这里在極限溫度中停留的时间，要根据回火过程的进行速度和所定硬度的达到与否来确定。关于这些問題下面还要詳述。

如果爐子的能力允許更強力的加热，無疑会降低底盤二个相鄰推进之間的时间間隔，或者像通常所說的加速底盤的推进。这时，我們必須保証在整个加热底盤的范疇中保持热透和溫度固定不变，反对在爐子的某些部位違反規定的技术条件而升高其溫度。

2 退 火

鋼料鍛件的加热超过 GSK 綫 $20\sim 30^{\circ}$ ，随后又緩慢地 冷却，

这叫做退火。

过共析碳素鋼和合金鋼最合理的退火是把它加热到比 A_{c1} 点略高而又低于 A_{cm} 点的溫度，以避免多余的碳化物沿晶粒四周成網狀析出。采用緩慢的加热和冷却是为了达到均衡的相的轉變，因而可以避免和消除殘余应力。緩慢的冷却必須进行到 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相的轉變終結時刻，实际上，为了降低由快速冷却所引起的不均性，緩慢的冷却要进行到低于同素异性轉變的終結溫度——一直到完全不見爐內的火色，也就是說低于 500° 的时候。从退火溫度到 500° 的冷却速度，对碳素鋼來說，可达到每小时 150° 。合金鋼在退火后应和爐子一起冷却到 $400 \sim 300^\circ$ 。这时，冷却速度不能超过每小时 50° ，在其他場合下，則不能超过每小时 $8 \sim 10^\circ$ 。在退火的極限溫度中，保溫時間的長短是多种多样的。它取决于裝載入爐的鍛件形狀和重量，爐子的热容量以及其他特殊問題，因而可以長達数十小时。其中的絕大部分時間是为使該批退火鍛件的所有各处都达到指定的溫度所必需的。所以在退火时鍛件的堆集不能太密，垛堆的高度也不能太大。 $\alpha \rightarrow \gamma$ 重新結晶过程的本身并不占有很長的時間。对于为退火而堆集的鍛件容积，經驗上認為采取按垛堆外形計算容积的五分之一至一半者为适当。但如前所述，有一种鋼料它在任何緩慢的冷却速度下仅能發生馬丁体的分解，如牌号为 18XHB(M)A 和其他的鋼料。当然，讓这类鋼料退火是不能达到目的的。退火仅对那些在緩慢冷却中（實踐中最慢可到每小时 8° ）能發生珠光体的分解或其 A_{r1} 点高于 700° 的鋼料（見附录 2）才能收效。

如众所知，退火应达到下列三个主要目的：

1. 降低鋼鍛件的硬度，以提高机床加工时的产量。
2. 消除殘余应力；在这一点上，退火較所有其他热处理規程要完成得徹底。
3. 获得組織均勻的鋼料；这是由于退火后緩慢地冷却和鋼料重新結晶所致。

表 1

鋼 的 牌 号	鋼 样 号	直徑16公厘的毛坯中所取試样的 热 处 理 規 程				橫向試样的机械性能(平均值)						
		退 火	在 油 中 淬 火	在 油 中 回 火	σ_b (公斤/公厘 ²)	δ (%)	ψ (%)	α_k (公斤/公分 ²)	不合格的数目		試驗 数目	
									試 σ_b	試 ψ		
30XICA	7419	無	800°	520°	106.5	9.25	23.67	3.06	1	7	3	11
30XICA	7419	880° 20小时	880°	520°	106.51	9.64	25.54	3.26	0	3	1	10
40XHMA	45368	無	850°	570°	110.1	12.6	48.6	9.07	3	2	0	10
40XHMA	45368	860° 20小时	850°	570°	109.6	14.32	49.68	9.27	0	0	0	10
12XH3A	5532	無	860° 780°	170° 3小时	90.43	13.8	32.63	8.44	0	4	2	10
12XH3A	5532	860° 20小时	860° 780°	170° 3小时	93.23	14.60	38.41	9.43	0	1	0	11

当然，退火工序的延續必然引起扩散过程的显著發展。

退火时，在某种程度上会使溶入鋼中的气体（例如氢）發生反扩散，但这可防止白点的形成。显然，鋼的均匀化过程也在进行，最低限度要在金屬纖維的（晶体的）邊緣区域中进行。这一点可在經長时期退火过的鋼料，特別在纖維被橫向切断的試样上塑性的显著提高（在室溫时）这一已知事实中得到証实。在橫向試样上断面收縮率、延伸率和冲击韌性都有显著的提高（表1）。

3 正 火

这一种鍛件的热处理方式是把鋼料加热到比上临界点高出30~40°的溫度，随后在靜止的空气中冷却，或用某些加速的方法，例如用壓縮空气吹拂或經強力霧化的水来冷却。正火仅能应用于亞共析鋼。过共析鋼不能承受这样的处理。否則，过剩碳化物相的溶解和由加速冷却以及在整个鍛件中相的轉变時間的差异，其所引起的应力將显著地使这种鋼料所制的鍛件趋于惡化。并会由于裂紋和扭曲而产生廢品。

如果大量裝載在退火时利于緩慢冷却的話，那末在正火时却是有害的。由于正火时的裝載不能过多，所以垛堆的高度不应超过350公厘，以便保証每一个鍛件均能达到最大的冷却速度。

正火能使鋼料的晶粒变細而使鍛件适于以后的加工。正火和紧跟着的高溫回火（低于 A_{c1} 溫度不多）相配合，就能完全滿足退火的三大任务。这种情况加上产量高，燃料消耗少等特点就保証了退火前采用正火作为鍛件預行热处理的优越性。但是，我們常能遇到一种鍛件粗晶粒的組織，不但正火，甚至退火都不能矯正。这种組織，即所謂岩狀和萐狀的断面組織。正火甚至能够惡化萐狀組織。这种情况在下面还要詳加討論。

亞共析鋼和不多几种合金鋼經正火后可以获得很低的硬度。其他鋼料經正火后的硬度則表現較高，为了使其变軟，需要另外一种形式的热处理——高溫回火。

4 高溫回火

高溫回火是指加熱到自 450° 至低於 A_{c1} 點 $20\sim 40^{\circ}$ 範圍內的溫度而言。

在鍛件的預行熱處理規程中所採用的完全是低於 A_{c1} 點 $20\sim 40^{\circ}$ 的極限高溫中的回火，所以下面我們只討論這種回火方式。

在回火時沒有相的轉變，因而鋼料晶粒的尺寸好像就失去了改變的條件。但是如實踐所示，在回火前和回火後的整個鍛件中，鋼料晶粒的尺寸若固定不變才是一種稀罕的現象。其實，任何發生在回火以前的鋼料熱處理（任何加熱和冷卻），即使沒有和外加機械力的作用而產生的塑性變形相伴著發生，差不多也必然會隨之發生不大的塑性變形。塑性變形的產生可能是由於從密度和比重較高的 γ -溶體到 α -相的轉變；或是由於在鋼料的容積中時常發生的溫度分布的不均性。當然，也可能是由於這二個過程的總合作用。

此外，由於在鍛造時變形不均性的高度發展，在鋼料中常常有一部分承受著接近於臨界變形程度的適量的塑性變形。這樣的金屬在高溫回火加熱時必然會引起再結晶。再結晶的結果是在那些臨界變形或接近於臨界變形的區域中造成不可避免的晶粒增大。

高溫回火的溫度和時間增加時，再結晶完成的程度和速度亦隨之增加，所以在制訂高溫回火的具体規程時，應在必要的情況下控制再結晶的進行。在回火時和再結晶進行的同時，在鋼料中還進行著其他過程：奧氏體、馬丁體和屈氏體的分解及相的凝集。這些過程隨溫度的提高而進行得更快更強烈。如果在初始的奧氏體、馬丁體、屈氏體或索氏體組織分解的進行狀態中採用高溫回火，結果會引起顯著的硬度變化。在從奧氏體到馬丁體的轉變時硬度增高，但繼續轉變時則硬度逐步降低。

由奧氏體、馬丁體和碳化物所組成的淬過火的鋒鋼在 $520\sim$

560°之間回火時，能導致硬度的增加，因為在這個溫度範圍中奧氏體分解為馬丁體和馬丁體的彌散硬化所致。

對於馬丁體的分解和屈氏體或索氏體的轉變情況，我們僅能看到硬度的降低。

如果對於保證正火只把金屬加熱到所要求的溫度就行的話，那麼在回火時，必須根據再結晶的速度和更多地根據初始組織的分解速度而或多或少地維持一段保溫時間。對於回火時加熱所需的時間，應根據溫度差的降低和熱傳導速度的降低而延長。

在回火時不僅產生奧氏體、馬丁體的分解和屈氏體及索氏體的轉變，同時還產生珠光體組織形式的轉變。開始時在珠光體中碳化物的形狀是片狀的——片狀珠光體；隨高溫退火時期的延長，片狀體漸漸地轉變，最後變成球狀，從而獲得粒狀珠光體。後一種組織和片狀珠光體相比較，提高了鋼料的塑性和改進了它在切削機床上的加工性。造成粒狀珠光體的回火這一名稱不太確切，按我們的意見，應稱之為造成粒狀珠光體的退火。

在高溫回火過程中延長其保溫時間，往往能顯著地改善機械性能的特性。如發覺延伸率、斷面收縮率甚至沖擊韌性降低時，配合其他措施，採用長時期的高溫回火，對於糾正上述鋼料的特性很有成效。

表2以18XHBA號鋼料為例說明上述情況。長時期高溫回火對許多其他牌號構造鋼的影響與此相似。

在工業中採用長時期的高溫回火以防止形成白點很有成效，這是在回火時有氫自鋼中進行反擴散的證明。

為了將回火的時間和溫度對硬度的影響具體化，我們列出了幾個對於38XA、30XΓCA、18XHBA、40XHMA、12X2H4A、20XH3A、45、38XMЮA、21H5A、40XΦA及20XA等牌號鋼料的實驗圖表（圖2~17）。

如在回火的規程中規定了達到最低硬度所必需的溫度和時間（見圖2~12），則回火前硬度的數值並不表現對回火後硬度的影